

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE CIVIL**

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO ANTE  
EFECTOS DE GOLPE DE ARIETE DEL TRAMO “TANQUE DE  
CARGA – TANQUE CHONE” DEL SISTEMA REGIONAL DE AGUA  
POTABLE DE ESMERALDAS Y SU ZONA DE INFLUENCIA,  
CONSIDERANDO ESTADOS DE FLUJO PERMANENTE Y NO  
PERMANENTE”**

**RAFAEL HERNÁN ÁVILA SAAVEDRA**

**DIRECTOR: ING. GUILLERMO FLORES**

**QUITO, MAYO 2018**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre y mi padre,  
Quienes nunca me han abandonado y quienes han dado  
todo de sí para que llegue a cumplir con los objetivos  
que me he planteado, hay tanto que debo agradecerles,  
y dedicarles mi esfuerzo es como puedo empezar.  
Con todo mi cariño y gratitud este trabajo es para  
ustedes Natacha y Vicente.*

***Rafael***

## **AGRADECIMIENTO**

*A la Pontificia Universidad Católica del Ecuador por brindarme una educación de calidad, darme recuerdos gratos y permitirme conocer grandes maestros.*

*Al Ingeniero Rodrigo Carpio por su ayuda brindada la cual fue indispensable para la elaboración de este trabajo, un gran profesional y ejemplo a seguir.*

*Al Ingeniero Guillermo Flores, director del presente trabajo de titulación, por su ayuda, dirección y conocimientos brindados.*

*A mis amigos de la carrera, por su apoyo y optimismo.*

*A mi familia por su amor y aprecio incondicional, especialmente a mis tías Silvia, Ivania, Sonia, Catalina.*

*Finalmente en memoria de mi madrina Guadalupe, por su cariño y apoyo, gracias de corazón.*

**Rafael**

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
--------------------------	----------

### CAPÍTULO I

<b>1</b>	<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>3</b>
1.1	Justificación.....	6
1.2	Objetivos .....	6
1.2.1	Objetivo general .....	6
1.2.2	Objetivos específicos.....	6
1.3	Metodología.....	7

### CAPÍTULO II

<b>2</b>	<b>INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO .....</b>	<b>8</b>
2.1	Área de influencia .....	9
2.1.1	Delimitación general del proyecto .....	9
2.1.2	Situación socio económica del área de influencia.....	12
2.1.3	Área de cobertura .....	14
2.2	Sistema existente de agua potable .....	15
2.3	Concepción general del proyecto .....	18
2.4	Descripción de la línea de conducción tanque de carga – Tanque Chone .....	19
2.4.1	Criterios de diseño.....	22
2.4.2	Topografía y cartografía.....	29
2.4.2.1	Geología y Geotecnia .....	30
2.4.2.2	Mecánica de suelos.....	31
2.4.3	Materiales .....	33
2.4.4	Datos de demanda .....	34
2.4.4.1	Análisis de la demanda.....	37
2.5	Análisis hidráulico.....	40
2.5.1	Consideraciones y criterios utilizados en los diseños definitivos .....	45

### CAPÍTULO III

<b>3</b>	<b>FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE EL GOLPE DE ARIETE .....</b>	<b>49</b>
3.1	Definición y descripción general del fenómeno de golpe de ariete .....	49
3.2	El golpe de ariete en líneas de conducción.....	50
3.3	Introducción al cálculo del golpe de ariete.....	54
3.4	Software utilizado para el cálculo del golpe de ariete.....	64
3.4.1	Fundamento de cálculo usado por ALLIEVI .....	66
3.5	Medidas para atenuar el efecto del golpe de ariete .....	69

### CAPÍTULO IV

<b>4</b>	<b>ANÁLISIS POR GOLPE DE ARIETE DE LA CONDUCCIÓN “TANQUE DE CARGA – TANQUE CHONE” .....</b>	<b>72</b>
4.1	Cálculo del golpe de ariete mediante la aplicación del Software Allievi.....	72
4.1.1	Objetivo del análisis .....	72
4.1.2	Descripción de la conducción modelada .....	72
4.1.3	Análisis propuesto .....	73
4.1.4	Ingreso de datos ALLIEVI V2.2.0.0 .....	73
4.2	Escenario 1: Régimen permanente .....	88
4.2.1	Escenario 2: Cierre rápido y simultáneo en cinco tanques.....	91
4.2.2	Escenario 2.1: Cierre simultáneo de cinco tanques en un tiempo de 25 segundos	92
4.2.3	Escenario 2.2: Cierre simultáneo de cinco tanques en un tiempo de 30 segundos	98
4.3	Escenario 3: Rotura de la tubería .....	102
4.3.1	Interfaz de rotura de tuberías.....	103
4.3.2	Escenario 3.1: Rotura de la tubería (L11b) .....	106
4.4	Análisis comparativo entre escenarios e interpretación de resultados .....	109
4.4.1	Análisis comparativo e interpretación de los resultados entre escenario permanente y el escenario 2.1 .....	109
4.4.2	Análisis comparativo e interpretación de los resultados entre escenario critico de rotura y régimen permanente.....	113

## **CAPÍTULO V**

<b>5</b>	<b>MEDIDAS PARA REDUCIR EL EFECTO DEL GOLPE DE ARIETE ...</b>	<b>117</b>
5.1	Verificación de espesores de la tubería .....	117
5.1.1	Cálculo de los espesores.....	118
5.2	Medidas Aplicables .....	122
5.2.1	Cambio de espesores .....	122
5.2.2	Implementación de válvulas reductoras de presión.....	126
5.2.3	Aplicación general de una ley de cierre mayor o igual a 60 segundos .....	130
5.3	Presupuesto referencial de materiales .....	132
5.3.1	Cantidades de obra .....	132
5.3.2	Costos Directos.....	134
5.3.3	Costos Indirectos .....	135
5.3.4	Presupuesto referencial para válvulas reductoras de presión .....	136

## **CAPÍTULO VI**

<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>144</b>
6.1	Conclusiones .....	144
6.3	Recomendaciones .....	146

<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>147</b>
--------------------------	------------

## **ANEXOS**

Anexo 1: Simulación para otros tiempos de cierre.....	150
Anexo 2: Simulación para escenarios de rotura .....	158
Anexo 3: Verificación de espesores de tubería del sistema de agua potable para la provincia de esmeraldas bajo efectos de golpe de ariete .....	164
Anexo 4: Simulación con varias válvulas reductoras de presión .....	171

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Distribución poblacional de acuerdo con las zonas de servicio del sistema regional de agua potable .....	13
Tabla 2: Sistema de Distribución; integrado por 19 zonas de distribución, cada una con su propio centro de reserva (Tanque) .....	20
Tabla 3: Demanda para horizontes de diseño .....	26
Tabla 4: Valores de capacidad portante admisible del terreno .....	33
Tabla 5: Características de la micro medición.....	36
Tabla 6: Usuarios por sector y categoría de consumo .....	36
Tabla 7: Población servida por períodos .....	39
Tabla 8: Sistema regional de agua potable Esmeraldas (Caudal de proyecto por períodos) .....	43
Tabla 9: Módulos de elasticidad volumétricos en base a la temperatura del medio .....	55
Tabla 10: Nudos y cotas de la red de conducción .....	73
Tabla 11: Ingreso de datos para tanques de reserva y cotas de agua para la simulación ....	74
Tabla 12: Interfaz de entrada para tuberías .....	75
Tabla 13: Interfaz de pérdidas ALLIEVI .....	77
Tabla 14: Rugosidad absoluta para varios materiales .....	78
Tabla 15: Datos de entrada para Tuberías .....	79
Tabla 16: Datos de entrada para Tuberías .....	80
Tabla 17: Interfaz de entrada para válvulas de regulación .....	81
Tabla 18: Coeficientes de pérdidas menores para válvulas .....	82
Tabla 19: Interfaz de válvulas compuestas.....	84
Tabla 20: Interfaz secundaria de válvulas compuestas.....	84
Tabla 21: Datos básicos para válvulas de regulación .....	86
Tabla 22: Datos básicos para válvulas compuestas .....	86
Tabla 23: Valores de Sobrepresión correspondientes al Área #1 .....	110
Tabla 24: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=500mm .....	119
Tabla 25: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=600mm .....	120
Tabla 26: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=800mm .....	120
Tabla 27: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=1200mm .....	120
Tabla 28: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=1500mm .....	121

Tabla 29: Interfaz de Válvulas reductoras de presión para los tramos L3a, L6a, L55 y L58c .....	127
Tabla 30: Interfaz de Regulación.....	127
Tabla 31: Principales costos indirectos del sistema.....	135
Tabla 32: Calendario de inversión anual del proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema Regional de Agua Potable de Esmeraldas y su zona de Influencia” .....	137
Tabla 33: Análisis de precios unitarios para válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 800mm .....	138
Tabla 34: Análisis de precios unitarios para válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 1500mm .....	139
Tabla 35: Presupuesto referencial para dos válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 800mm .....	140
Tabla 36: Presupuesto referencial para dos válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 1500mm .....	141
Tabla 37: Presupuesto Referencial Total -Válvulas Reductoras de Presión .....	142



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Trazado General del Proyecto.....	3
Figura 2: Esquema de la sectorización de la red de conducción de agua potable .....	5
Figura 3: Configuración del sistema regional para la provincia de Esmeraldas .....	9
Figura 4: Cartografía básica -Mapa provincial.....	10
Figura 5: Mapa Topográfico de la Provincia de Esmeraldas.....	12
Figura 6: Área de cobertura correspondiente al sistema regional de la provincia de Esmeraldas.....	14
Figura 7: Esquema del sistema existente hasta el año 2013 .....	17
Figura 8: Tramo “Tanque de Carga – Tanque Chone”.....	21
Figura 9: Conducción tanque de carga – Esmeraldas/balnearios .....	24
Figura 10: Conducción tanque de carga – Rocafuerte.....	25
Figura 11: Obras y componentes del tramo “Tanque de carga- Chone” .....	48
Figura 12: Generación del golpe de ariete en conducciones a presión.....	50
Figura 13: Disipación de ondas en el fenómeno de golpe de ariete .....	57
Figura 14: Flujograma de cálculo para el software ALLIEVI.....	68
Figura 15: Cálculo del valor de celeridad en el programa ALLIEVI V 2.2.0.0.....	76
Figura 16: Interfaz de maniobra para válvulas .....	83
Figura 17: Modelo Hidráulico “Tanque de Carga-T.Chone” en ALLIEVI .....	87
Figura 18: Envolverte de presiones para Régimen Permanente de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone” .....	88
Figura 19: Envolvertes de presión para Régimen Permanente de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone” .....	90
Figura 20: Reducción de las envolvertes de presión para Régimen Transitorio a partir de un tiempo de cierre de 35 segundos de la línea de conducción “T.Carga- T.Chone”.....	92
Figura 21: Sistema desmultiplicador para válvulas de regulación de la red de agua potable para Esmeraldas y su zona de influencia .....	93
Figura 22: Tiempos de cierre y porcentajes de apertura para una maniobra rápida de 25 segundos. ....	94
Figura 23: Porcentaje de apertura para válvulas Vamex .....	95
Figura 24: Envolvertes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 25 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone” .....	96

Figura 25: Envolventes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 25 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone” .....	97
Figura 26: Tiempos de cierre y porcentajes de apertura para una maniobra rápida de 30 segundos .....	99
Figura 27: Envolventes de presión para régimen transitorio con tiempo de cierre de 30 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone” .....	101
Figura 28: Tramos para escenario de rotura de tubería del sistema de agua potable para la provincia de Esmeraldas y sus zonas de influencia.....	102
Figura 29: Ábacos para cálculo de Kv (m <sup>3</sup> /h) en función del diámetro y ángulo de apertura	105
Figura 30: Interfaz de rotura del tramo L11B.....	106
Figura 31: Envolventes de presión para rotura de tubería en el tramo L11B del sistema regional de agua potable de Esmeraldas.....	108
Figura 32: Tramo de tubería S. Rafael – Refinería.....	111
Figura 33: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Permanente .....	111
Figura 34: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 25 segundos .....	112
Figura 35: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 30 segundos .....	113
Figura 36: Oscilación de presiones por rotura del tramo “L11B” .....	114
Figura 37: Comportamiento del Nudo “N6a” para rotura de tubería del tramo “L11B” ..	115
Figura 38: Comportamiento del Nudo “N6a” para régimen permanente del tramo “L11B”	116
Figura 39: Envolventes de Presión para el Escenario 2.1 luego de incrementados los espesores de tubería .....	124
Figura 40: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 25 segundos luego de incrementados los espesores de tubería.....	125
Figura 41: Válvulas reductoras de presión para tramos L3a, L6a, L55 y L58c .....	126
Figura 42: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio bajo la acción de válvulas reductoras de presión.....	128
Figura 43: Envolventes de Presión para el Escenario 2.1 bajo la acción de válvulas reductoras de presión .....	129
Figura 44: Envolventes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre igual a 60 segundos .....	131

## INTRODUCCIÓN

Para poder comprender el análisis que se llevará a cabo en este trabajo de disertación, primero es necesario que se presente una breve introducción con la cual se pueda presentar los conceptos básicos que involucran al fenómeno del golpe de ariete o también llamado transitorio hidráulico.

En primer lugar se debe conocer que el movimiento de un flujo es algo muy complejo de modelar y predecir, tal es así que normalmente se llama a un flujo estacionario o constante, cuando su velocidad, presión y la sección de la corriente no llegan a variar en el tiempo, caso contrario, cuando varían en función del tiempo se dice que el flujo es de tipo variable o de tipo transitorio, en cuyo caso se puede llegar a definir al fenómeno de golpe de ariete como la variación de presiones correspondiente al cambio en las condiciones del flujo antes mencionadas debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de una tubería en función del tiempo (Abreu, 2003, págs. 227,228).

Entonces, siendo este fenómeno dependiente respecto de la variación de estas condiciones en el tiempo, se puede decir que es susceptible de la velocidad con la que se produzcan estos cambios, por esto se intuye que su mayor efecto se dará cuando dichas condiciones cambien de manera abrupta; En los sistemas a presión, maniobras que se ejecutan en válvulas, como por ejemplo el cierre o apertura en tiempos relativamente cortos, necesariamente implicarán los mayores efectos para el golpe de ariete, ya que se provocará un aumento o reducción en la velocidad de circulación del fluido de manera repentina, acción que provocará una transformación total de la energía de movimiento del fluido y la transformará en energía de Presión, la cual causará un aumento en los esfuerzos de tensión de la sección de tubería, pudiendo en casos críticos causar su rotura y posteriormente su colapso (Ortiz Masek, 2006, págs. 163,164).

Del ejemplo planteado anteriormente, existen varias causas posibles y maniobras adicionales, que luego de ser efectuadas inducen el fenómeno del golpe de ariete, tales como, la puesta en marcha de bombas de impulsión, el detenimiento de las mismas, el funcionamiento irregular de Bombas y accesorios de la conducción, el llenado o vaciado del sistema, roturas y fugas localizadas en la pared del sistema de conducción. En general

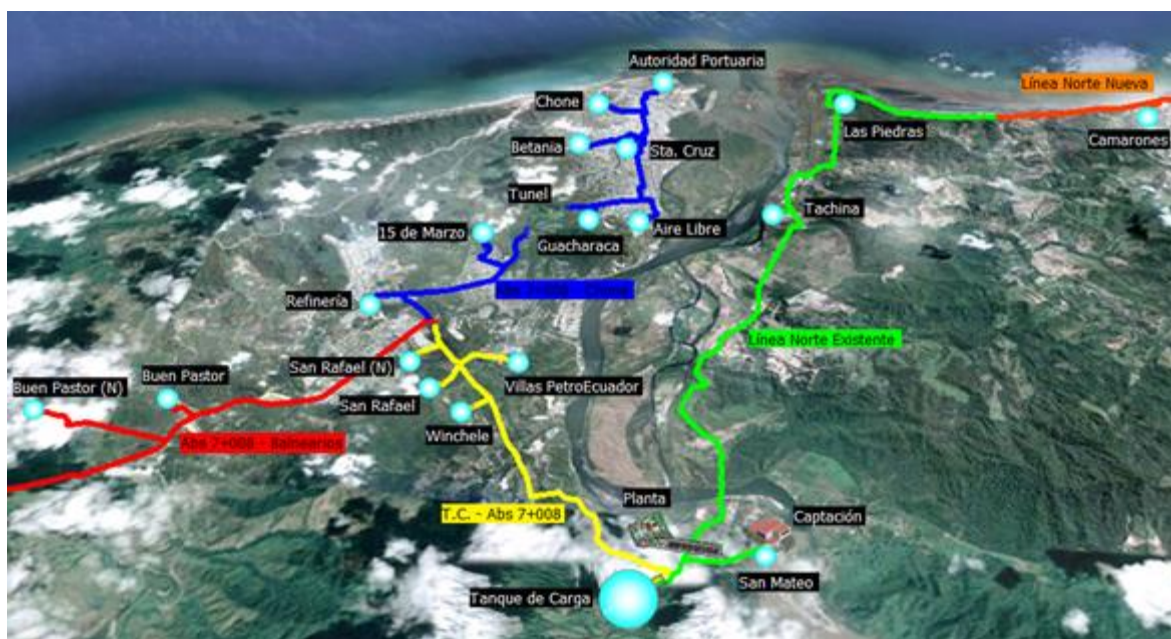
se debe notar que este fenómeno ocurre por cualquier acción o eventualidad que produzca variación en la velocidad del flujo y por ende en la presión.

De lo mencionado anteriormente, todos aquellos posibles escenarios generalmente tienden a ocurrir cuando se realizan de manera rutinaria maniobras y operaciones necesarias para el mantenimiento y funcionamiento de un sistema de agua potable, lo cual hace indispensable el cálculo y análisis de los posibles efectos que puedan generarse debido a la ocurrencia de dicho fenómeno en sistemas a presión (Abreu, 2003, págs. 229,230).

## CAPÍTULO I

### 1 ANTECEDENTES

El proyecto en cuestión se encuentra estructurado como parte de la línea de conducción principal que forma parte del abastecimiento de agua potable para la ciudad de Esmeraldas y poblaciones aledañas como lo son Winchele, villas de Petro Ecuador, San Rafael, Refinería, Aire libre, Betania, Chone, entre otras (ACSAM Consultores, 2015, págs. 1-2).

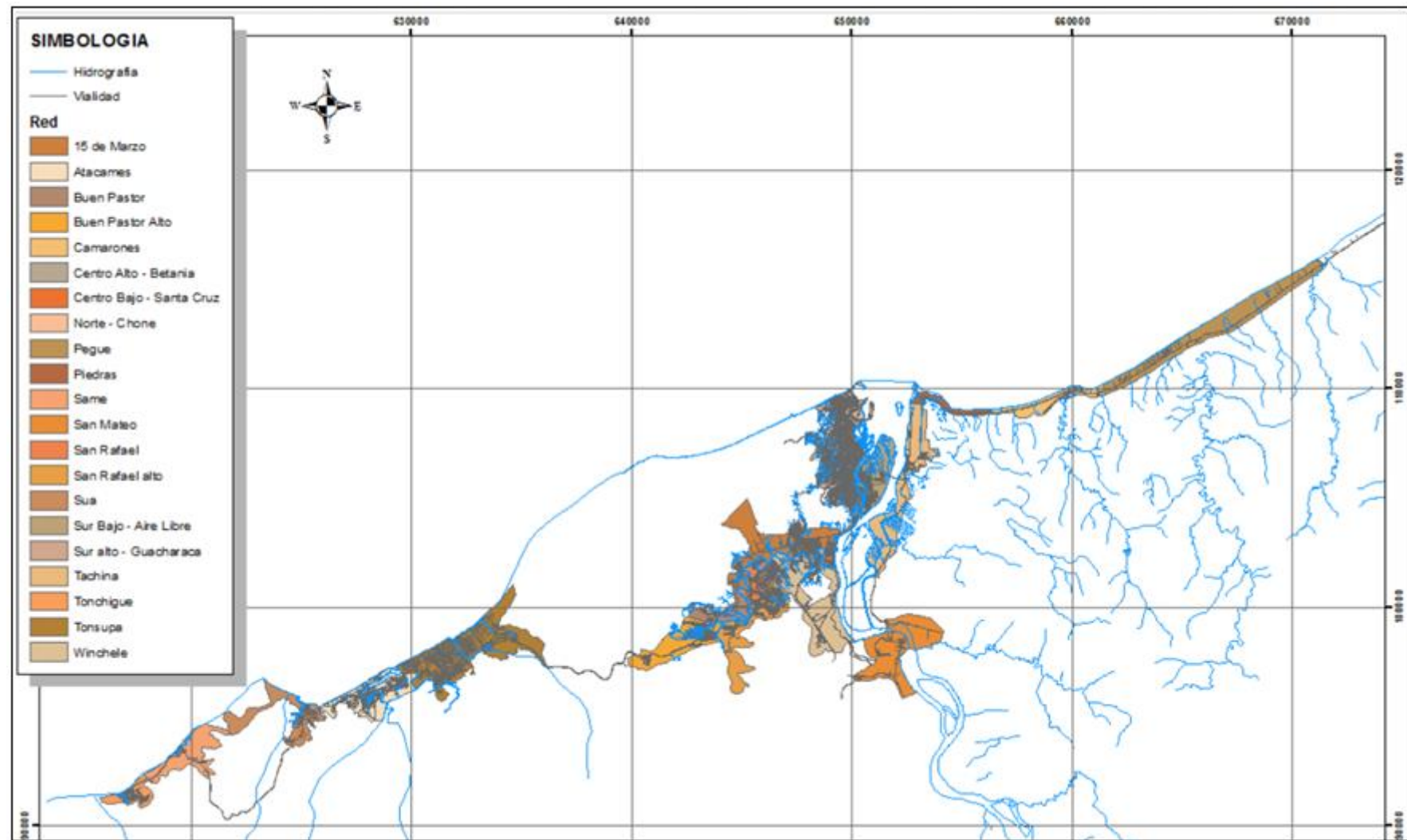


**Figura 1: Trazado General del Proyecto**

**Fuente:** ACSAM-Memoria de diseño definitivo

El sistema se encuentra estructurado en base a una línea de conducción de la cual parten varios ramales que alimentan a tanques de almacenamiento de diferentes capacidades, tal como se muestra en la Figura 1. El material que ha sido contemplado para la línea principal de conducción del tramo “Tanque de carga –Tanque Chone” es acero, con diámetros que van desde los 500 milímetros hasta los 1500 milímetros. Adicionalmente, al sistema se incorporan varios accesorios como válvulas de purga, válvulas de control, válvulas de aire y medidores de caudal. La importancia de efectuar un control de golpe de ariete en este sistema de conducción recae fundamentalmente en la verificación del comportamiento de las tuberías del diseño definitivo, mediante el uso del software ALLIEVI, ya que al no mitigarse de forma apropiada los efectos del golpe de ariete podría

existir un sub dimensionamiento de los espesores, lo que influiría en el costo del proyecto, o en su defecto la tubería calculada tendría un riesgo de rotura o colapso (ACSAM Consultores, 2015, págs. 1-2).



**Figura 2: Esquema de la sectorización de la red de conducción de agua potable**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 131)

## **1.1 Justificación**

La presente disertación tiene como justificación la necesidad de realizar una evaluación del tramo “Tanque de carga –Tanque Chone” de aproximadamente 25 km de longitud, considerando los efectos del golpe de ariete, a fin de verificar que estos se mitiguen de forma adecuada. Para el efecto se requiere un estudio que permita evaluar la respuesta y el comportamiento de la línea de conducción a fin de evitar posibles fallas o su eventual colapso cuando se presentan los siguientes escenarios:

- Estado de Flujo Permanente del Sistema
- Cierre rápido de válvulas durante la operación
- Falla o rotura de tuberías en cualquier punto

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

Evaluar hidráulicamente el tramo de conducción “Tanque de carga – Tanque Chone”, perteneciente al nuevo sistema de agua potable para la provincia de Esmeraldas, ante efectos causados por el fenómeno del golpe de ariete, haciendo uso del software ALLIEVI.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- 1.- Caracterizar el sistema existente de agua potable para la provincia de Esmeraldas y su zona de influencia, describiendo el nuevo proyecto y el tramo de conducción que se evaluará bajo efectos de golpe de ariete.
- 2.- Describir los aspectos técnicos relevantes del fenómeno de golpe de ariete en sistemas hidráulicos a presión.
- 3.- Analizar por golpe de ariete la línea de conducción “Tanque de carga – Tanque Chone” considerando los tres escenarios de operación planteados anteriormente.



4.- Definir las medidas para reducir el efecto del golpe de ariete en el tramo de conducción “Tanque de carga – Tanque Chone”.

5.- Establecer las conclusiones y recomendaciones pertinentes.

### **1.3 Metodología**

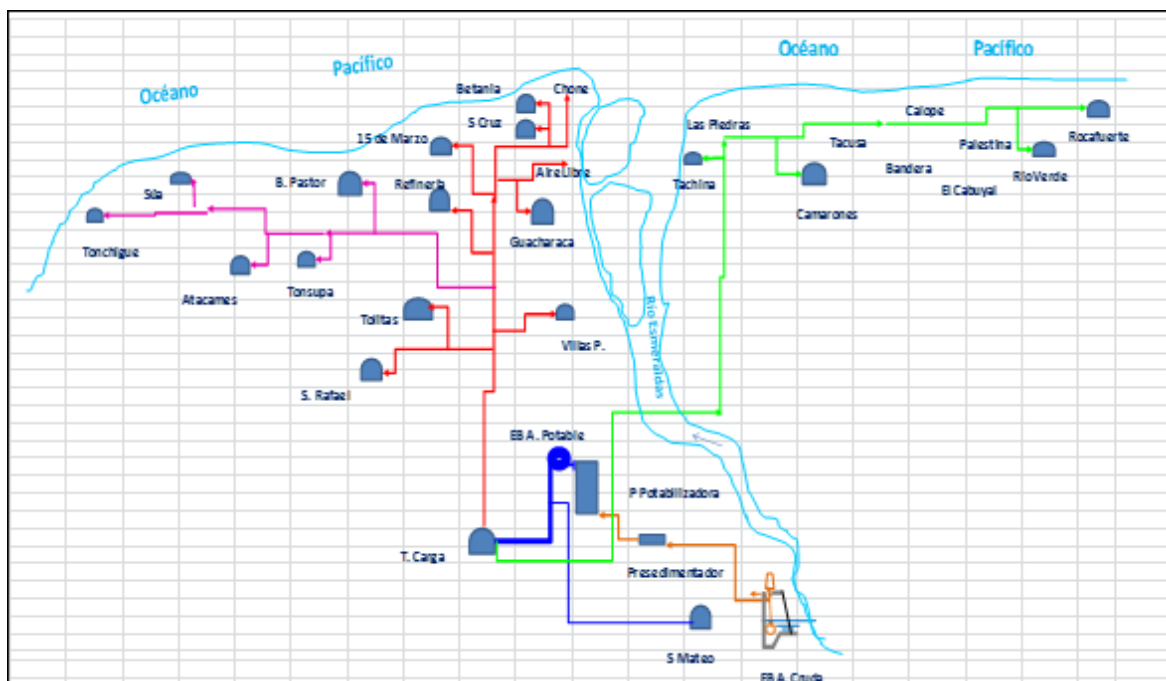
Partiendo del diseño previo de la línea de conducción “Tanque de carga – Tanque Chone” efectuado por la consultora ACSAM, se ha encontrado que los efectos producidos por el fenómeno del golpe de ariete posiblemente no se mitigarán de una manera adecuada, generando así un riesgo importante en la integridad de la red de agua potable, razón por la cual se plantea analizar el comportamiento hidráulico que presente la conducción de aproximadamente 25 Kilómetros de longitud, que como se ha indicado inicia en un Tanque de Carga localizado en la cota 185,6 m.s.n.m. en la abscisa 0+000 y se conecta en su trayecto a ramales que abastecen la Ciudad de Esmeraldas y las zonas aledañas como lo son: Winchele, Villas de Petroecuador, San Rafael, Refinería, 15 de marzo, Guacharaca, Aire Libre, Santa Cruz, Betania, Chone y Autoridad Portuaria, entre otras. Ante los efectos que podría generar el Golpe de Ariete bajo solicitaciones de funcionamiento rutinario e imprevisto, causado por fallas en la operación o por posibles roturas, se hará uso del software especializado ALLIEVI, el cual permitirá realizar un análisis y evaluación del comportamiento de la línea de conducción y consecuentemente permitirá concluir si los espesores calculados en el diseño previo son aptos para resistir los esfuerzos generados por el golpe de ariete. Para el efecto se contará con información técnica, relacionada con la topografía del área de proyecto, caudales, características de los tanques de carga, planos y datos de las líneas de conducción, información geotécnica de la zona e información de demanda, la cual será proporcionada por la Unidad de Gerenciamiento del Proyecto Esmeraldas-Balnearios (UGP-E). Adicionalmente se propondrán elementos de control adecuados y finalizado el análisis en el software se procederá a evaluar los espesores de diseño calculados previamente por la consultora a fin de asegurar la integridad de la tubería bajo la influencia de efectos transitorios.

## **CAPÍTULO II**

### **2 INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

El proyecto en cuestión se desarrolla cumpliendo con el marco para el plan de compensación social otorgado por PETRO ECUADOR, fundamentándose en el principio de acción social y proyectando un apoyo al desarrollo continuo de la Ciudad de Esmeraldas; el sistema regional de agua potable, comprende un conjunto de obras civiles que a futuro permitirá el abastecimiento de agua potable para los Cantones de Esmeraldas, Atacames y de Río Verde, en la actualidad el sistema cuenta con un caudal aproximado de 800 l/s, que de acuerdo con el diagnóstico realizado por la consultora ACSAM, empresa encargada de realizar el diseño para el mejoramiento y ampliación del sistema de agua potable de Esmeraldas y su zona de influencia, no podrá cubrir la demanda actual y futura de la población a servir (ACSAM Consultores, 2015).

Los componentes antiguos del sistema comprenden: captación de agua cruda, bombeo de agua cruda, conducción de agua cruda, tanque de agua cruda, una planta de tratamiento convencional que trabaja mediante procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, además dicho sistema cuenta con una estación de bombeo de agua tratada que abastece a los tanques de almacenamiento de Esmeraldas, Atacames y Río verde; tanques de reserva que brindan servicio a las a las zonas aledañas, tal como se muestra en la Figura 3 (ACSAM Consultores, 2015).



**Figura 3: Configuración del sistema regional para la provincia de Esmeraldas**

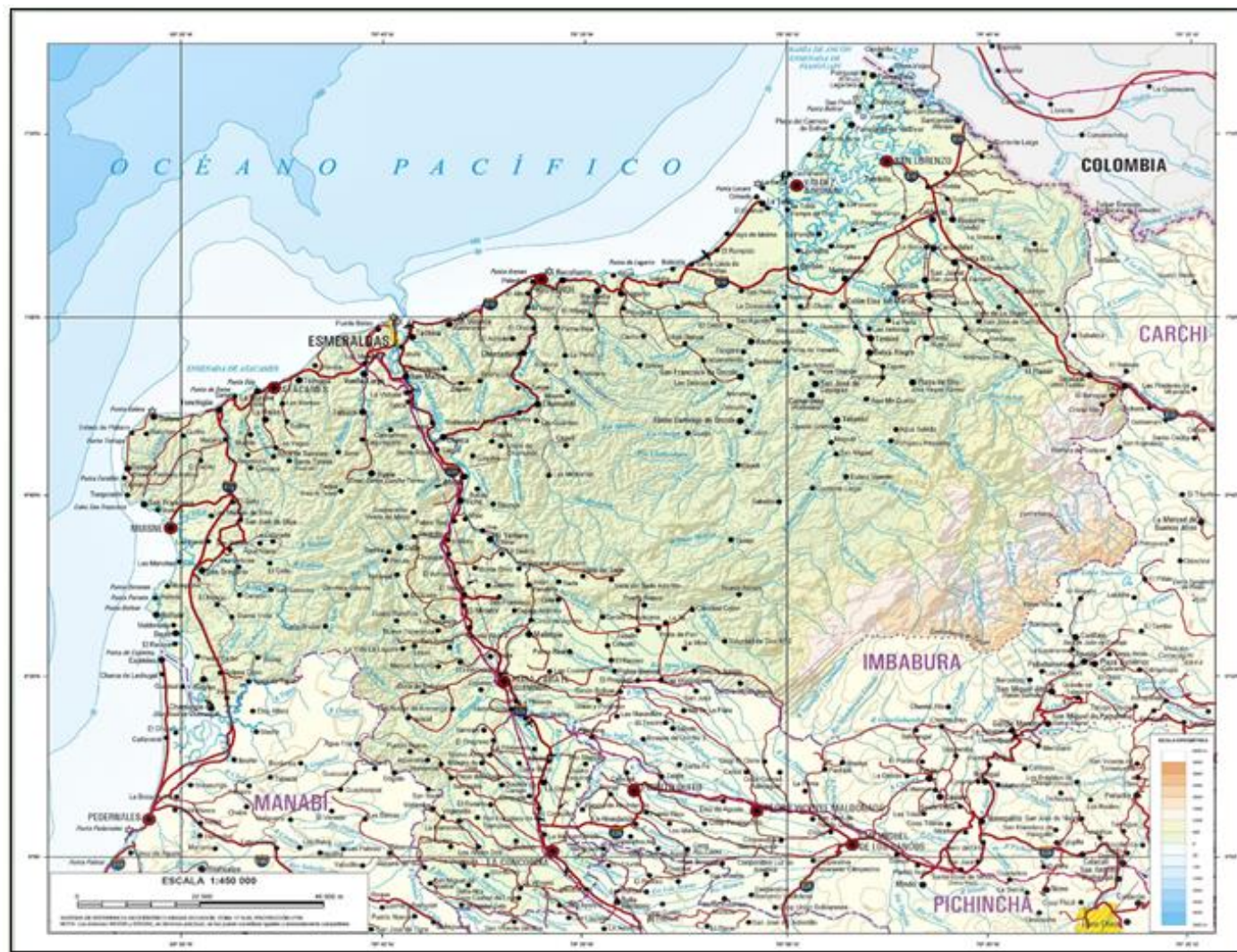
Tomado de (ACSAM Consultores, 2015) (no consta en la memoria de diseño definitivo)

## 2.1 Área de influencia

### 2.1.1 Delimitación general del proyecto

La provincia de Esmeraldas se encuentra ubicada en la parte occidental de la frontera norte del Ecuador, en dirección al Océano Pacífico, con un área aproximada de 15.954 km<sup>2</sup>. Al norte se encuentra limitada por Colombia, al sur con las Provincias de Manabí, Pichincha e Imbabura, al este se encuentra limitada por las provincias de Imbabura y Carchi, y finalmente al oeste por el Océano Pacífico (ACSAM Consultores, 2015).

En general la provincia de Esmeraldas se encuentra conformada por ocho cantones los cuales son: Esmeraldas que es su capital, Atacames, Río Verde, Eloy Alfaro, el cantón de San Lorenzo, el cantón Quinindé, Muisne y por la Concordia. La Provincia de Esmeraldas junto con su capital y sus balnearios se encuentran localizados en la zona costera norte del país, Esmeraldas está considerada como el eje principal de este proyecto, siendo implantado aproximadamente a 320 Km en dirección oeste de Quito, capital del Ecuador, en concordancia con la carta topográfica que se muestra en la Figura 4:



**Figura 4: Cartografía básica -Mapa provincial**

Tomado de (Instituto Geográfico Militar Ecuador, 2016)

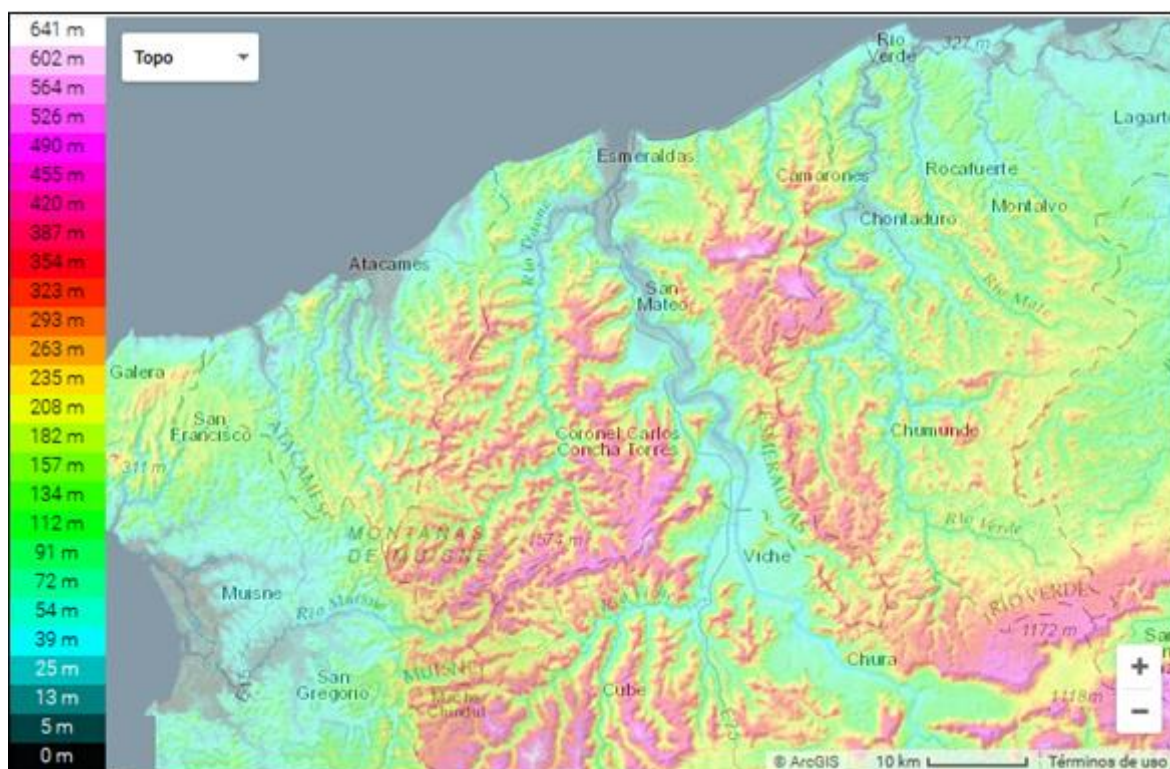
La ciudad de Esmeraldas se encuentra limitada por las siguientes coordenadas y altitudes en base a la proyección transversa de Mercator para la zona número 17 del esferoide:

- Extremo Nor-Este: N: 10'110.000, E:655.000
- Extremo Sur-Oeste: N: 10'100.000, E:645.000
- Intervalo de Altitud: 4-270 msnm. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 2).

El núcleo poblacional de la ciudad se encuentra asentado principalmente al lado izquierdo del Río Esmeraldas, cuya forma se encuentra definida por una franja de tipo rectangular cuyas dimensiones aproximadas son de 5 kilómetros en dirección norte-sur y 1,5 kilómetros en dirección este-oeste, manteniéndose una cota media de 15 m.s.n.m. entre dichos puntos. En la zona oeste de la ciudad se han formado barrios y asentamientos poblacionales, principalmente a las faldas de las colinas y lomas con cotas que van entre los 15 y 80 m.s.n.m., en donde la topografía es muy ondulada y presenta pendientes fuertes de hasta un 40% (ACSAM Consultores, 2015, pág. 2).

En la parte Sur del núcleo poblacional, en la periferia de la refinería se han conformado varios barrios y zonas residenciales, propias de la clase media que se ha establecido en el área, a estas zonas en los estudios realizados por ACSAM se los ha denominado “Barrios Sur”, zonas que poseen los servicios básicos como lo son el sistema de agua potable, sistemas de alcantarillado, y conexión a energía eléctrica. La zona de los “Barrios Sur” posee una extensión un poco mayor al área correspondiente al núcleo urbano consolidado de la ciudad, donde la mayor parte de esta área cuenta con una topografía que posee una cota media de aproximadamente 20 m.s.n.m., tal como se puede apreciar en la Figura 5. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 2).





**Figura 5: Mapa Topográfico de la Provincia de Esmeraldas**

Tomado de (Topographic-Map, 2017)

### 2.1.2 Situación socio económica del área de influencia

De acuerdo con el último censo realizado en la región, Esmeraldas posee un total de 365.223 habitantes los cuales representan aproximadamente el 2,81% de la población nacional que es económicamente activa y el 5,97% de las plazas laborales para poblaciones activas en la zona costanera del país, se sabe además que una gran cantidad de las plazas laborales del sector se encuentran concentradas en los cantones de Esmeraldas, Río Verde y Quinindé, los cuales conjuntamente llegan a sumar una población próxima a los 89.774 habitantes, representando de esta manera casi el 70% de la población económicamente activa y donde aproximadamente el 30% restante se encuentra repartido entre los cantones de Muisne y de Atacames (ACSAM Consultores, 2015, págs. 54, 55).

Con respecto a la provincia, esta posee principalmente tres factores que mantienen activo el curso económico de su población, y estos son el cacao, la palma y el banano, siguiendo con el aspecto económico este se encuentra basado en un estado de producción y comercio. Pasando al aspecto social educacional, el promedio de escolarización y asistencia a instituciones de educación media llega en el caso de la educación primaria a un porcentaje

aproximado del 83,07%, es decir que aproximadamente dos de cada diez menores no pueden acceder a una educación normal y continua. La educación en la mayoría de los cantones de esmeraldas no logra llegar al promedio provincial, en donde en promedio los años de educación de los individuos no llega a superar los cinco años continuos. De acuerdo a la situación socio económica descrita en la provincia de Esmeraldas conjuntamente con sus respectivos balnearios y zona de influencia, el proyecto regional de agua potable es sumamente necesario ya que mediante la ejecución de este, se podrá incrementar la actividad económica y mejorar la calidad de vida de sus habitantes, potenciándose aspectos importantes como lo son la educación, la producción agrícola, ganadera y finalmente se podrá cumplir con un porcentaje de cobertura completo del servicio de agua potable para todos los habitantes de la provincia en cuestión como se encuentra proyectado en la tabla 1 hasta el año 2040.

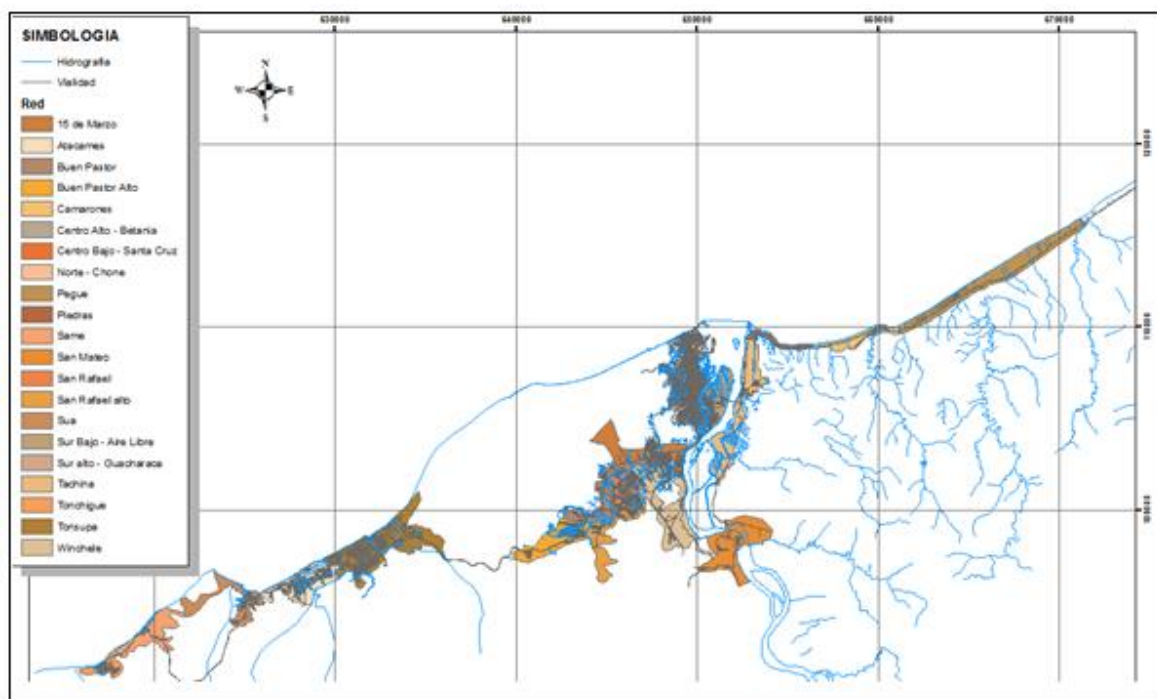
**Tabla 1: Distribución poblacional de acuerdo con las zonas de servicio del sistema regional de agua potable**

DISTRIBUCIÓN POBLACIONAL POR LAS ZONAS DE SERVICIO								
Zona de servicio	Area (ha)	POBLACIÓN (hab)						
		2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Chone	297.99	39139	39498	40416	41364	42341	43349	44390
Betania	140.01	18163	17251	20332	22081	23866	25693	27473
Santa Cruz	64.82	19033	19240	19772	20325	20898	21494	22113
Guacharaca	224.14	36431	37240	39347	41586	43965	46492	49178
Aire Libre	602.34	50444	51610	54654	57895	61344	65017	68929
15 de Marzo	759.30	39479	44722	49114	50254	51109	51811	52581
V. Petroecuador	36.31	3574	4721	5643	5846	6101	6379	6679
San Rafael	415.14	18798	20780	21568	23043	24538	26065	27562
Winchele	535.26	24874	29646	33997	35743	37347	38884	40426
<b>Total ESM</b>	<b>3075.31</b>	<b>249935</b>	<b>264707</b>	<b>284844</b>	<b>298137</b>	<b>311509</b>	<b>325184</b>	<b>339331</b>
San Rafael Nuevo	215.24	26998	31623	32575	34350	36131	37941	39731
Buen Pastor	203.60	1436	1487	1610	1728	1845	1962	2079
Buen Pastor Nuevo	199.03	2456	2544	2755	2956	3156	3358	3557
Tonsupa	1380.34	25938	27456	31267	35115	38976	42893	46841
Atacames	313.85	21254	22566	25786	28944	32036	35089	38077
Súa	351.68	6675	7090	8086	9036	9941	10809	11630
Tonchigue + Same	518.69	8799	9342	10682	12007	13316	14619	15907
<b>Total Balnearios</b>	<b>3182.43</b>	<b>93557</b>	<b>102108</b>	<b>112761</b>	<b>124137</b>	<b>135400</b>	<b>146672</b>	<b>157823</b>
Tachina	640.93	7823	10293	12280	12722	12861	12821	12798
Piedras	124.19	890	921	998	1070	1143	1216	1288
Camarones	219.20	1639	1698	1838	1972	2106	2240	2373
Pegue	672.33	554	574	621	667	712	757	802
Cabuyal		588	612	670	727	782	835	887
Rioverde	595.33	6661	6926	7582	8226	8852	9458	10042
Rocafuerte	286.12	6721	7024	7771	8506	9207	9877	10513
<b>Total Norte</b>	<b>2538</b>	<b>24877</b>	<b>28048</b>	<b>31760</b>	<b>33889</b>	<b>35663</b>	<b>37204</b>	<b>38704</b>
San Mateo	395.35	3360	3480	3768	4043	4317	4593	4865
<b>Total Proyecto</b>	<b>8796</b>	<b>371728</b>	<b>398343</b>	<b>433133</b>	<b>460206</b>	<b>486889</b>	<b>513653</b>	<b>540722</b>

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 70)

### 2.1.3 Área de cobertura

La zona de cobertura del sistema de agua potable Esmeraldas – Balnearios se encuentra dividida principalmente en dos regiones, la primera región comprende aquella que abarca los balnearios en la parte sur-oeste de Esmeraldas, región en donde se encuentra establecida casi en su totalidad la ciudad, la segunda región es correspondiente a la parte norte de Esmeraldas, región que posee características muy importantes ya que en la misma se encuentran establecidos elementos urbanos relevantes tales como lo son el aeropuerto y zonas urbanas que han presentado en los últimos años una disposición a la expansión, tal como se muestra a continuación en la Figura 6 (ACSAM Consultores, 2015, pág. 131).



**Figura 6: Área de cobertura correspondiente al sistema regional de la provincia de Esmeraldas**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 131)

El área de influencia del proyecto para el sistema regional de agua Esmeraldas-Baldenarios en cuestión se encuentra definida por un área de 9191.32 hectáreas, área que se definió según los estudios de la consultora ACSAM de manera inicial, mediante visitas de campo continuas conjuntamente con técnicos de la EAPA San Mateo, la empresa Petroecuador y técnicos especializados de la consultora, de manera que se pudo definir las áreas que serán servidas y aquellas que al igual, dentro de un futuro próximo necesitarán



del servicio, que se estima esta proyectado con un horizonte de diseño que va hasta el año 2040, de esta manera el área de cobertura básicamente comprende el área de tipo urbana de la ciudad de Esmeraldas, San Mateo, Atacames, Tonsupa, Sua, Tonchigue, y en general todas las zonas rurales pertenecientes a Piedras, Camarones, Pegue, San Mateo, y que son abastecidas mediante plantas de tratamiento de agua potable ubicadas en San Mateo. La subsecretaría de saneamiento ambiental, ha estimado que el proyecto en cuestión cumpla con una cobertura teóricamente absoluta para el servicio de agua potable que servirá a la población que se encuentra ubicada dentro del área calculada de 9191.32 hectáreas, todo esto tomando en cuenta la población fija y la población de tipo flotante ajustada al periodo de diseño (ACSAM Consultores, 2015).

## **2.2 Sistema existente de agua potable**

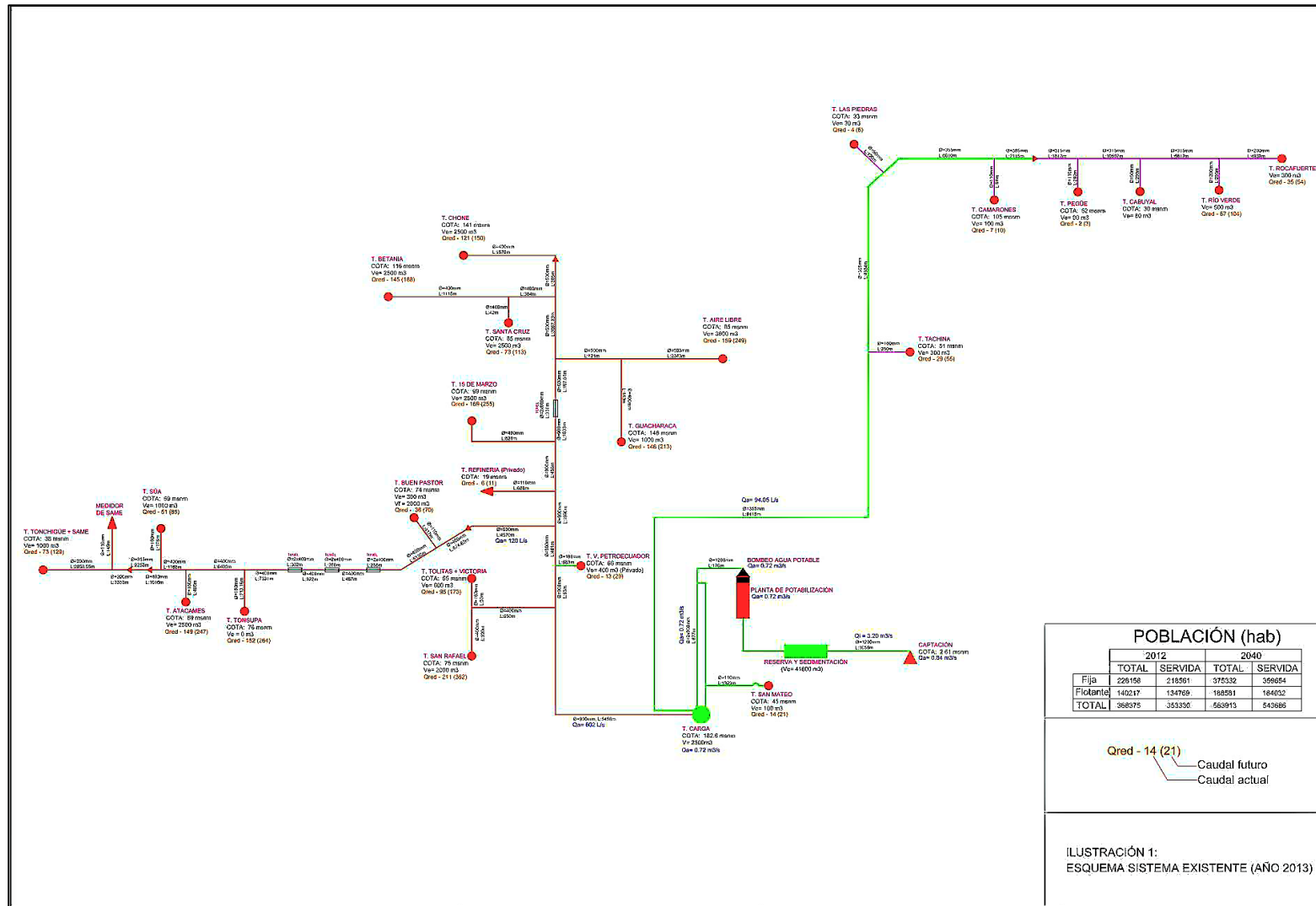
El sistema regional de agua potable de la provincia de Esmeraldas fue concebido en los años de 1986 a 1987, y fue proyectado con un horizonte de diseño de 30 años que va hasta finales del año 2015, el área aproximada de cobertura que alcanzaba el sistema de agua potable existente en la región correspondía a unas 1303 hectáreas incluyendo aproximadamente 18 núcleos poblados de la región y asentamientos que radican de manera longitudinal en sentido de la red de conducción existente.

El caudal máximo diario de tipo doméstico del proyecto existente fue determinado en aproximadamente 1615.86 l/s, según los estudios previos realizados por ACSAM este caudal fue obtenido en base a la proyección de la población y a las dotaciones promedio correspondientes a 140 l/hab.día para las poblaciones de Chigue, Tahigue y Timbre, adicionalmente se cuenta con 185 l/hab.día para los habitantes de Tonchigue, Galera, San Mateo, Tachina, Rocafuerte y Chafalú, conjuntamente con 54 l/hab.día para las poblaciones intermitentes (Turistas y viajeros) y finalmente un total de 230 l/hab.día asignado para el resto de las zonas que son servidas por este sistema, adicionalmente a este caudal se le incluyó los consumos de tipo especial que fueron estimados en 247,8 l/hab.día, caudal que se encuentra conformado por caudales menores asignados de 98,8 l/s para el Puerto, 123,2 l/s para la Industria, 5,8 l/s para las Industrias Termoeléctricas y finalmente un caudal de 25 l/s para los centros recreacionales como parques y plazas (ACSAM Consultores, 2015, págs. 6, 7).

El caudal máximo diario determinado por ACSAM corresponde a 1863,62 l/s, de manera que los componentes del proyecto fueron diseñados para caudales correspondientes a 2236 l/s para la captación, 2050 l/s para las conducciones y 2050 l/s para la planta de potabilización. Adicionalmente se sabe que el diseño antiguo del año 1987 pudo prever que los componentes del sistema como la captación, las impulsiones y los tanques de carga debían ser construidos en el año de 1989, tomando en cuenta que cada componente debía soportar su caudal correspondiente al finalizar del periodo de diseño, por otro lado la planta de potabilización, donde se encuentran incluidas las lagunas de pre-sedimentación y lagunas de reserva, conjuntamente con los tanques de reserva y las conducciones principales, debían empezar su funcionamiento en dos etapas donde la primera tendría que empezar en el año de 1989 y la segunda etapa debía empezar en el año 2003, cada etapa tendría que empezar con la mitad de la capacidad del proyecto total y finalmente las redes de distribución principales y ramales secundarios debían ser implementados conforme se vaya dando el crecimiento de la población en los años siguientes que aportarían al crecimiento de la demanda (ACSAM Consultores, 2015, págs. 6, 7).

Es necesario tomar en cuenta que el proyecto no se desarrolló como se lo había planteado, ya que la ejecución de las obras previstas para el año 1989 no se llevaron a cabo conforme el tiempo programado y estas entraron a funcionar en el año de 1995, complementariamente a este desfase que sufrió el proyecto, la segunda etapa programada para el año 2003 nunca se llevó a cabo (ACSAM Consultores, 2015, págs. 6, 7).

Continuando con la descripción del sistema existente, se sabe que la fuente de abastecimiento del sistema regional corresponde a la cuenca hidrográfica del río Esmeraldas, río de cual se capta el agua superficial, adicionalmente el agua natural es transportada mediante el uso de cinco bombas y llevada hasta una red de conducción que permite conducir el agua hacia una planta de potabilización que se encuentra constituida por tres módulos de operación los cuales son, un módulo de floculación mecánica, sedimentación, filtración y homogeneización de partículas y desinfección mediante el uso de gas cloro, tal como se muestra en la Figura 7 (ACSAM Consultores, 2015, págs. 7, 8).



**Figura 7: Esquema del sistema existente hasta el año 2013**

Tomado de (ACSA Consultores, 2015, pág. 9)

### **2.3 Concepción general del proyecto**

En general el Proyecto de agua potable correspondiente al sistema regional de la provincia de Esmeraldas está concebido de la siguiente manera:

- Fuente de abastecimiento, río Esmeraldas.
- Captación de agua cruda (parroquia San Mateo, junto al río Esmeraldas).
- Bombeo y Línea de impulsión de agua cruda (desde captación a lagunas).
- Planta de Potabilización (lagunas, tratamiento, laboratorio y administración).
- Estación de bombeo de agua potabilizada.
- Línea de impulsión de agua potabilizada (desde la planta al tanque de carga).
- Tanque de carga.

Línea de conducción Tanque de carga – Esmeraldas - Balnearios; y un ramal principal al que son conectadas independientemente sendas de derivación que abastecen a: San Mateo, villas de Petroecuador, Las Tolitas-San Rafael, Barrios del sur, y la ciudad de Esmeraldas.

- Línea de conducción Tanque de carga – Río Verde, que abastece a: Tachina, Camarones, asentamientos menores, Río Verde y Rocafuerte.
- Tanques de reserva, prácticamente para cada uno de los poblados de las derivaciones de las conducciones.
- Redes de distribución en cada población.
- Subestación eléctrica (10 MW) (ACSAM Consultores, 2015, pág. 8).

## **2.4 Descripción de la línea de conducción tanque de carga – Tanque Chone**

El tramo que será analizado en este trabajo de disertación corresponde a un segmento de la línea de conducción de agua potable del sistema regional de Esmeraldas, el cual ha sido nombrado como “Tanque de Carga – Tanque Chone”, al cual se conectan ramales de derivación independientes que abastecen a zonas tales como: Winchele, San Rafael, Refinería, Petro Ecuador, 15 de marzo, Guacharaca, Aire Libre, Santa Cruz, Betania, Chone y finalmente Autoridad Portuaria.

Como se ha explicado anteriormente desde el punto de abastecimiento de agua potable del tramo en cuestión, se cuenta con tanques de reserva prácticamente para cada una de las derivaciones nombradas, sin embargo estas zonas generalmente poseen un abastecimiento racionado y de carácter intermitente, en donde muchos de los barrios que constituyen estas zonas no tienen una conexión de agua potable a nivel domiciliario, por motivos variados, entre ellos los más importantes constituyen aquellos problemas localizados entre tramos de tubería que constituyen las líneas principales, obstrucciones frecuentes, la falta de red de distribución en los sectores más pobres de estas zonas, adicionalmente varios de los componentes del sistema ya han cumplido con su vida útil y otros no poseen la debida capacidad hidráulica en diámetros, lo que tiende a generar grandes pérdidas de carga y por ende afecta a estas con la falta de servicio continuo (ACSAM Consultores, 2015, págs. 7, 8).

El tramo “Tanque de Carga –Tanque Chone” tiene su origen en un Tanque de carga principal del sistema “Línea Esmeraldas” perteneciente al sistema regional de agua potable de Esmeraldas y continúa su trayecto mediante una sola tubería principal a la cual como se ha explicado anteriormente se conectan ramales individuales para cada zona en cuestión, el tramo analizado tiene una longitud de aproximadamente 25 kilómetros de tubería reforzada de acero con recubrimiento para evitar daños causados por el medio ambiente o por medios externos que puedan poner en peligro la integridad del sistema (ACSAM Consultores, 2015, págs. 7, 8).

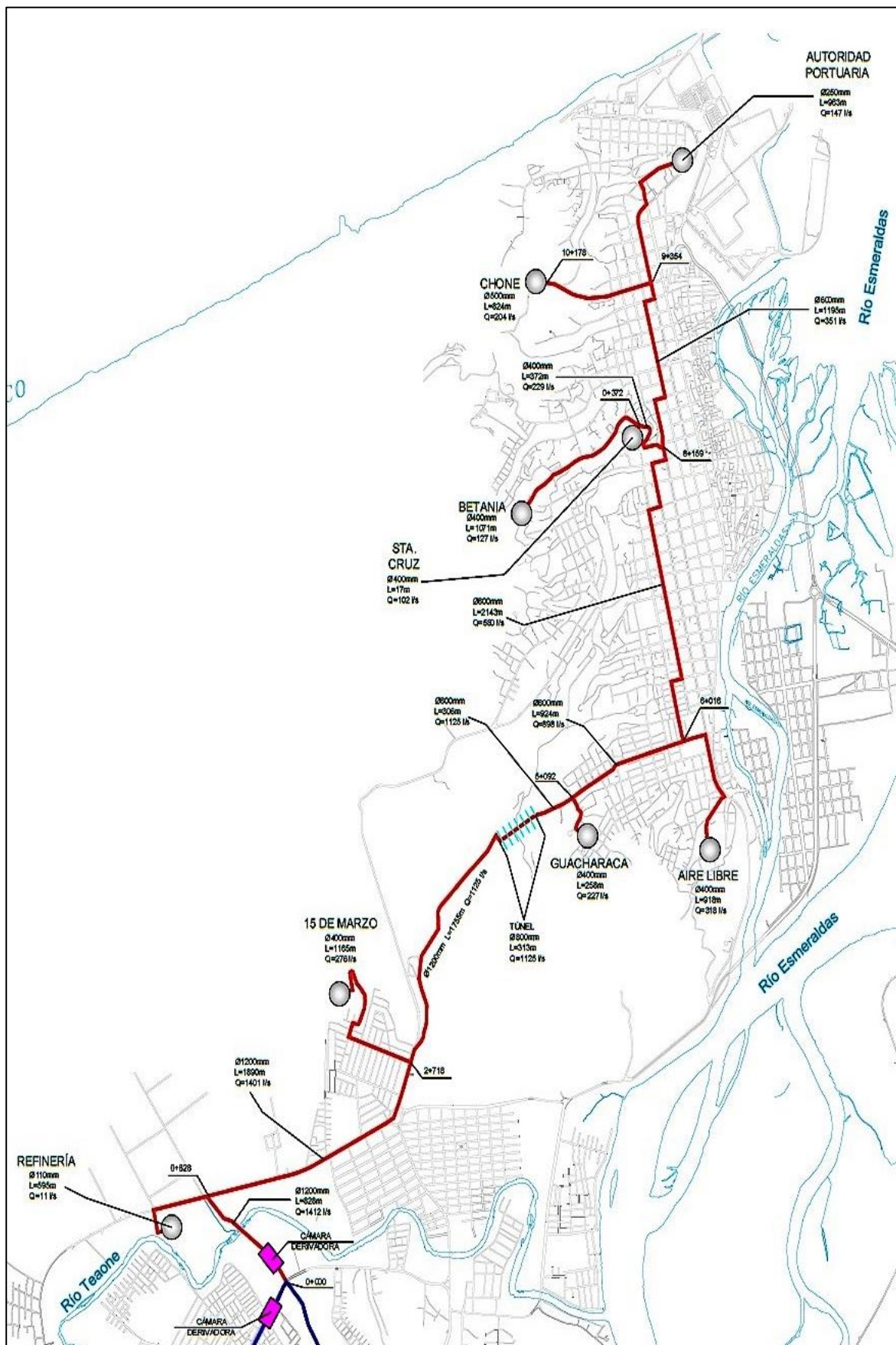
El tanque de carga con el que el tramo en estudio inicia se encuentra localizado aproximadamente en la cota 185,6 m.s.n.m, este tanque posee una capacidad de alrededor de  $2000\text{ m}^3$ , el cual ha sido tomado en cuenta de manera íntegra para el nuevo sistema

regional, como ya se ha explicado cada ramificación del sistema regional prácticamente consta con su propio tanque de reserva los cuales conforman un sistema de distribución integrado por 19 zonas a servir, a continuación en la Tabla 2 y en la Figura 8 se muestran las zonas que conforman dicho sistema, conjuntamente con la capacidad que poseen en base al sistema existente y la capacidad que estos necesitaran a futuro con el fin de formar parte del nuevo sistema regional (ACSAM Consultores, 2015, pág. 8).

**Tabla 2: Sistema de Distribución; integrado por 19 zonas de distribución, cada una con su propio centro de reserva (Tanque)**

Centros de Reserva	Cap. Existente (m3)	Vol requerido (m3)		Vol. implementar (m3)	
		2040	Capacidad	2012-2024	2025-2040
Chone	2500	3459	3500	0	1000
Betania	2500	2673	2500	0	0
Santa Cruz	2500	4260	4500	1000	1000
Guacharaca	1000	4776	5000	2500	1500
Aire Libre	3600	5542	5500	0	2000
15 de Marzo	2500	5814	6000	2000	1500
San Rafael	2000	6401	6500	2500	2000
Winchele+Victoria+Tolitas	0	6408	6500	4500	6500
Buen Pastor	300	1916	2000	1000	1000
Tonsupa	0	6070	6000	4000	2000
Atacames	2500	5613	5500	1500	1500
Súa	1000	2161	2500	1500	0
Tonchigue +Same	1000	3787	4000	1500	1500
San Mateo	100	618	600	500	0
Tachina	300	1407	1500	1500	0
Piedras	30	217	300	300	0
Camaronas	100	346	300	300	0
Pegue	90	153	100	100	0

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 49)



**Figura 8: Tramo “Tanque de Carga – Tanque Chone”**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 49)

### **2.4.1 Criterios de diseño**

Teniendo en cuenta que el sistema de agua potable de la región tiene deficiencias, en especial en las conducciones de agua potable, donde se menciona algunas de las más importantes:

- Los diámetros de las tuberías de conducción no son los adecuados para cumplir con la demanda que se requiere satisfacer en el presente y en proyecciones futuras.
- El tramo de conducción Principal Esmeraldas-Balnearios ubicado al sur se encuentra deteriorado y presenta fugas frecuentes y fallas en la estructura.
- La mala calidad del suelo de la zona ha afectado la integridad estructural de las conducciones de agua potable lo cual ha generado inestabilidad en el sistema.

Estas razones han constituido la base con la cual se ha diseñado el nuevo sistema de agua potable, teniendo como fin el único objetivo de garantizar un servicio permanente y continuo, que permita satisfacer las necesidades de demanda y calidad de agua potable para las zonas de influencia (ACSAM Consultores, 2015, págs. 110, 111).

Los criterios de diseño que permitirán llevar a cabo dicho objetivo son presentados a continuación:

#### **Diseño de las instalaciones para el Tanque de Carga**

El tanque de carga perteneciente al nuevo sistema regional de agua potable de Esmeraldas corresponde a un tanque de tipo superficial, equipado con una cúpula de sellado, con capacidad de  $2000\text{ m}^3$  (ACSAM Consultores, 2015, pág. 111).

#### **Aspectos Operacionales del Tanque de Carga**

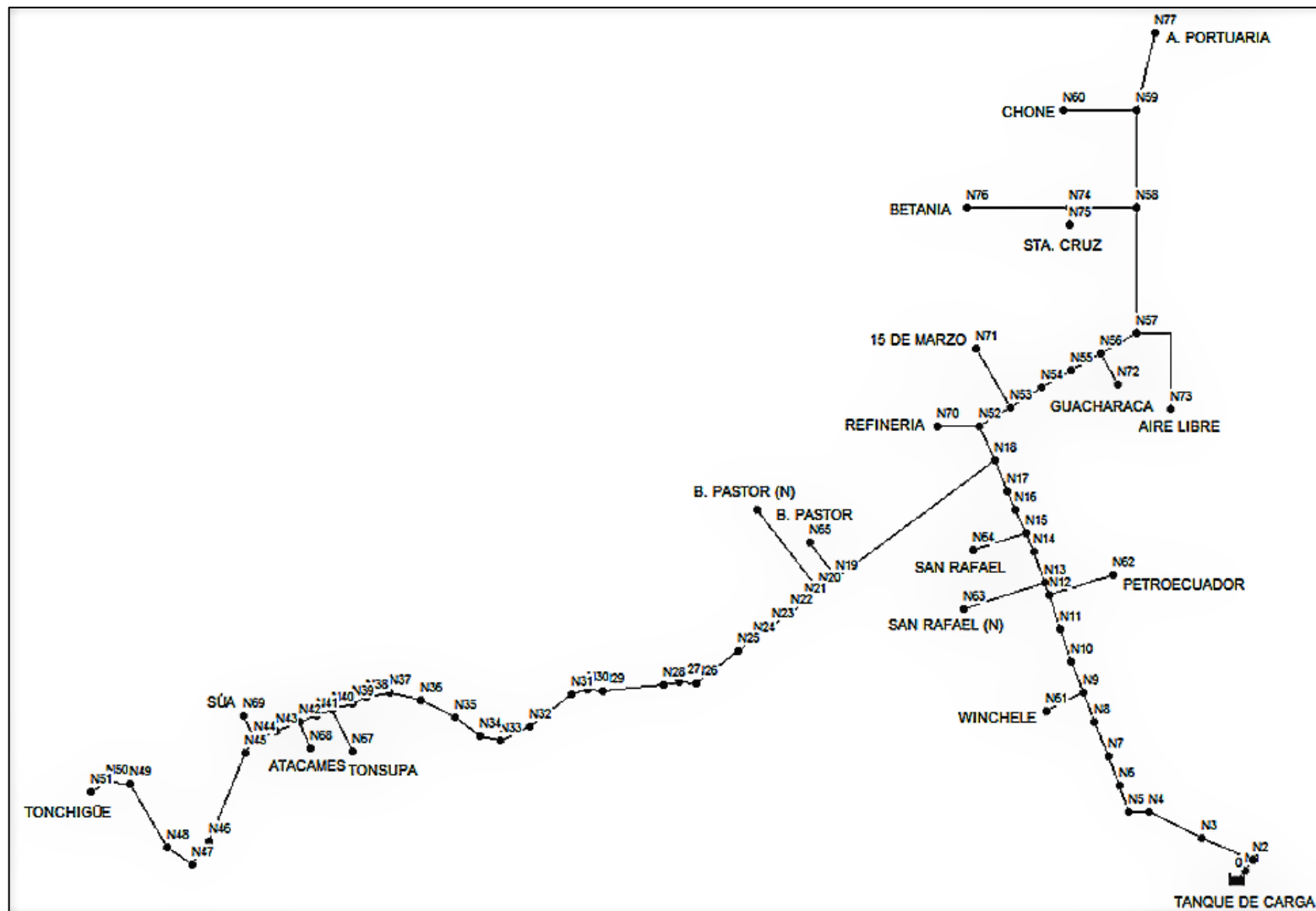
El tanque de carga cumple con dos funciones principales que son las de regular el funcionamiento de las bombas de agua potable y la principal de brindar una presión correcta a las líneas de conducción que llegan a los tanques de reserva secundarios.



Como criterio principal para el diseño de este tanque de carga se tomó en cuenta el hecho que todo el volumen de agua bombeado para el sistema va a llegar a este tanque, por ende esto convierte a esta unidad de carga en una unidad de bombeo principal, con esto se equipó un sensor ultrasónico que medirá el nivel de agua mediante el sistema Scada, el cual generará las condiciones más apropiadas de encendido y apagado de las bombas, el criterio de diseño para el cálculo hidráulico del tanque de carga ha partido de la noción de que el nivel de cota del tanque será de 185,6 m.s.n.m., determinándose así el número de bombas para niveles máximos y mínimos de agua, considerando que se requerirá un mayor número de bombas para los niveles mínimos y un menor número de bombas para los niveles máximos (ACSAM Consultores, 2015, págs. 111, 112).

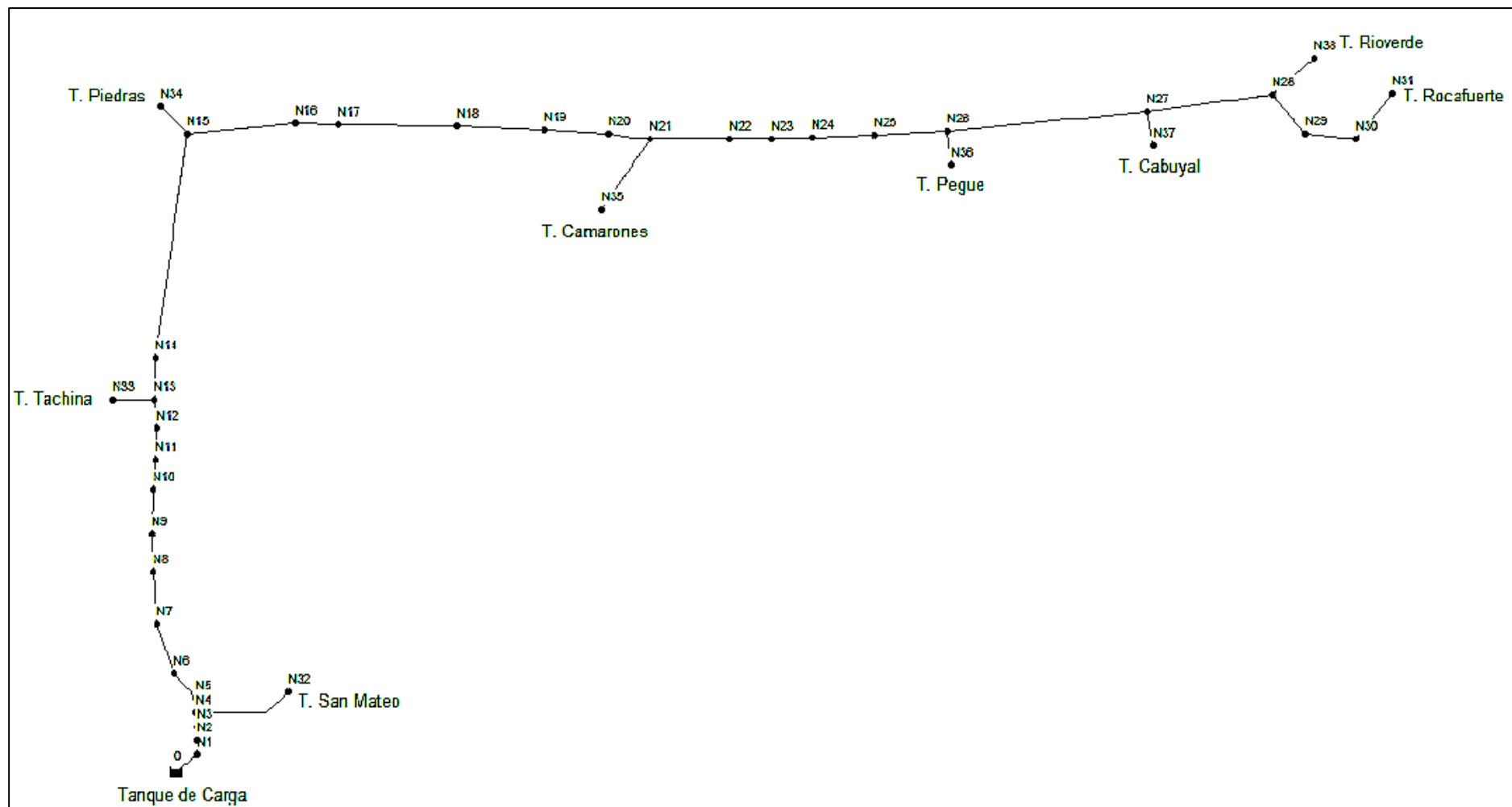
### **Diseño de las Conducciones de agua Potable**

De acuerdo con el diseño definitivo proporcionado por la empresa ACSAM el esquema de las redes de agua potable se encuentra conformado por dos conducciones principales independientes que se presentan a continuación en las Figuras 9 y 10.



**Figura 9: Conducción tanque de carga – Esmeraldas/balnearios**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 112)



**Figura 10: Conducción tanque de carga – Rocaforte**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 113)

La estructuración de ambos sistemas de agua potable ha sido concebida en base a la configuración topográfica de la zona existente entre la ubicación del Tanque de Carga y los tanques de reserva y por lo tanto en base a sus zonas de servicio.

### **Criterios de Diseño para Demanda**

La demanda para cada uno de los sistemas de conducción de agua potable, fue determinada para poder cumplir al cien por ciento con las solicitudes demográficas que se han venido dando en la zona y que han sido explicadas anteriormente, también se han considerado los caudales para abastecer a la zona y a sus poblaciones aledañas a lo largo de los periodos de diseño contemplados como se presenta en la Tabla 3. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 112, 113).

**Tabla 3: Demanda para horizontes de diseño**

	<b>QMD l/s</b>		
Conducción	2013	2025	2040
TC- ESM/BALN	1780	2232	2748
TC- ROCA FUERTE	128	174	200
<b>TOTAL</b>	<b>1909</b>	<b>2405</b>	<b>2948</b>

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 114)

El caudal de diseño con el cual se procedió a diseñar las conducciones corresponde al Caudal máximo diario más el 3%. Para evitar que el flujo de agua tome trayectorias preferenciales debido a la variación de cotas de la zona se han instalado cámaras de regulación de flujo, con el fin de evitar flujos preferenciales a determinadas zonas ubicadas en las cotas más bajas (ACSAM Consultores, 2015, pág. 114).

El trazado de las conducciones de agua potable se realizó siguiendo los trazos de los caminos existentes en la zona de influencia, acción que presenta la ventaja de permitir la facilidad de construcción y mantenimiento.

## Diseño Hidráulico

Para la elaboración del diseño hidráulico de las líneas de conducción se consideró la utilización de la fórmula de Hazen-Williams que se presenta a continuación:

$$H_{fi} = \frac{K_i * 10.65 * L * Q^{1.851}}{C^{1.851} * D_i^{4.87}}$$

Dónde:

H<sub>fi</sub>: Pérdidas de carga por fricción en la línea (m)

K<sub>i</sub>: Factor de mayoración de la longitud real de la línea de impulsión para considerar el efecto de las pérdidas menores en accesorios.

L: Longitud de la línea de impulsión (m)

C: Coeficiente de pérdidas de carga, dependiente del material de la tubería.

D<sub>i</sub>: Diámetro real interno de la tubería (m).

Los valores de los coeficientes a ser aplicados en el proyecto son:

Factor de mayoración de longitud K<sub>i</sub>=1.00

Coeficiente de fricción:

Para tubos de PVC C=120

Para tubos de HD y acero C=120 (ACSAM Consultores, 2015, pág. 114); (Ortiz Masek, 2006, pág. 217).

Para el cálculo de las pérdidas menores por accesorios en las instalaciones se realizó el uso de la ecuación de Darcy – Weisbach, se procedió a aplicar los coeficientes de pérdida de

carga correspondientes a cada material usado para los accesorios del sistema, la ecuación se presenta a continuación:

$$h_f = K_s * \frac{V^2}{2 * g}$$

Dónde:

H<sub>f</sub>: Pérdida de carga en un accesorio (m)

K<sub>s</sub>: Sumatoria de los coeficientes de pérdida de carga en accesorios

V: Velocidad del flujo (m/s)

g: Aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

Para la aplicación del coeficiente de pérdidas de la ecuación presentada se debe tener en cuenta que este es independiente del diámetro de la conducción, de la velocidad del flujo y de la naturaleza del mismo, solamente requiere que el flujo sea de tipo turbulento para poder proceder a su aplicación, tal como se indica en el manual de Hidráulica de Azevedo Netto, Vol I, pág. 217.

Otros criterios de diseño aplicados a la concepción del proyecto regional de la red de conducción de agua potable de Esmeraldas/Balnearios se indican a continuación.

- El diseño hidráulico se realizó para un estado permanente de flujo, mediante la utilización del software de diseño Epanet 2e, el análisis hidráulico se realizó para tuberías que se encuentran sometidas a presiones de trabajo causadas por flujos sometidos a gravedad.
- El cálculo hidráulico tomó como base la demanda futura de las zonas de influencia del proyecto regional de agua potable y adicionalmente se tomó en consideración las condiciones iniciales de demanda.
- Dada la topografía de la zona del proyecto, sus condiciones sísmicas y la calidad del suelo, se ha considerado que el material de las conducciones será acero regido bajo la

normativa ASTM A53 para aquellos tramos que presenten diámetros desde los 500 mm en adelante y para los tramos que presenten diámetros menores se escogerá como material al PVC regido bajo la normativa AWWA C 900.

- La presión de descarga de los tanques de reserva se ha fijado en 10 m y la velocidad máxima para los tramos de las conducciones será menor a 0,3 m/s. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 106-115).

#### **2.4.2 Topografía y cartografía**

El proyecto para el sistema regional de agua potable de Esmeraldas fue concebido en el año de 1987 y su construcción se realizó desde el año de 1992 al año de 1994, en el año de 1995 comenzó con su operación, se debe tomar en cuenta que en estos periodos de tiempo, para la realización del diseño no se contaba con tecnología de precisión para dibujos digitales y cálculos, por lo que es de considerar que la cartografía y topografía de ese periodo fue calculada manualmente. Sabiendo esta situación se debe considerar que para la realización del nuevo proyecto, el primer paso consistió en la digitalización de toda la información previa relacionada con la cartografía y la topografía de la zona (ACSAM Consultores, 2015, pág. 13).

Los planos digitalizados fueron reajustados al sistema WGS 84 y para esto se tomó como base el plano urbano de Esmeraldas correspondiente al año 2011, el cual posee una cuadrícula de categoría urbana que se encuentra actualizada y georreferenciada, en este plano se han sobrepuesto los datos georreferenciados del proyecto en cuestión y sus componentes principales como lo son: tanques de carga, tuberías, válvulas, junto con las líneas de conducción principales, se implantó la información topográfica que fue levantada en campo correspondiente a: captación, planta de potabilización, tanques de carga, además de las conducciones (ACSAM Consultores, 2015, págs. 113,114).

Para la fase de estudios correspondientes al proyecto en cuestión los trabajos topográficos fueron desarrollados con el propósito de implantar la red principal mediante el uso de puntos de control para ejes verticales y horizontales (coordenadas y cotas), haciendo uso de coordenadas de posicionamiento geodésico (GPS). Este sistema de puntos generados tiene como propósito el servir para el desarrollo del proyecto actual y para el desarrollo de las

obras complementarias que van a ser implementadas en función del tiempo, adicional a la red principal de control topográfico se ha colocado una red secundaria de control con el propósito de servir como un sistema de control topográfico base para trabajos de evaluación en los sistemas existentes y para control de levantamientos topográficos futuros (ACSAM Consultores, 2015, págs. 13-14).

#### **2.4.2.1 Geología y Geotecnia**

Respecto a la geología el proyecto regional de agua potable de Esmeraldas se encuentra establecido en los flancos de las cuencas sedimentarias de Borbón y Esmeraldas, complejo perteneciente a la corteza oceánica y al cinturón volcánico de los Andes. En las zonas costaneras se evidencia la concentración de rocas sedimentarias y aluviales que se encuentran sobrepuestos a la base de roca madre de la zona. Las fallas geológicas de la zona muestran rasgos geomorfológicos más que por actividad sísmica de la zona por factores desestabilizantes como lo son la excesiva lluvia y constitución del suelo perteneciente a la zona, en los estudios de suelos se ha evidenciado que la inestabilidad geológica de la zona tiene origen en los suelos residuales de la zona que bajo la influencia de la escorrentía tienden a causar deslizamientos de tierra y de roca meteorizada (ACSAM Consultores, 2015, págs. 13,14)

El suelo al desprenderse de la matriz por acción del agua pierde cohesión y se traslada pendiente abajo, comportándose como un suelo blando que se desplaza como un fluido viscoso, este escenario es un factor muy recurrente en la zona, además se cuenta con la presencia de arcillas tipo esmectita con características expansivas, lo cual representa un factor negativo a la hora de establecer la ubicación estructural del proyecto. En su mayoría las rocas de tipo sedimentario que se encuentran en la zona presentan densidades medias a bajas, una alta porosidad y una permeabilidad media, esto hace que los taludes de la zona presenten una cierta dependencia con respecto a la orientación de la fractura que presente el macizo rocoso que se encuentre subyacente; con respecto a los aluviales y a su matriz, esta presenta una composición a base de materiales de densidad media, alta porosidad y una permeabilidad media (ACSAM Consultores, 2015, pág. 14).



#### **2.4.2.2 Mecánica de suelos**

Durante la etapa de inicio del proyecto regional de agua potable se realizaron trabajos de caracterización geotécnica de la zona, procediendo a determinar de una manera general la estabilidad de las zonas de asentamiento y de los taludes existentes, así como también se procedió a determinar los drenajes existentes. Luego de haber definido las obras que se llevaran a cabo para la conformación del sistema de agua potable ya diseñado, se ha procedido a realizar una caracterización geotécnica específica y más detallada por medio de trabajos y ensayos de campo, ensayos de laboratorio y cálculos en gabinete que han permitido obtener los resultados que llevan a la caracterización físico-mecánica de los estratos propios al sitio donde se han proyectado los tanques de Carga, tanques de reserva, la planta de potabilización y propiamente las líneas de conducción con el fin de definir de la manera más adecuada el tipo de cimentación que se necesitará para garantizar la integridad estructural de las obras civiles (ACSAM Consultores, 2015, págs. 76, 77).

Para cumplir con este objetivo se realizaron estudios que abarcan aspectos como:

- Perforaciones de sitio
- Ensayos de perforación estándar SPT con toma de muestras
- Análisis de la estratigrafía (registros de perforación)
- Ensayos de clasificación de los suelos
- Ensayos de corte tri-axial UU en muestras inalteradas
- Ensayos de expansividad PVC
- Ensayos de compactación
- Análisis químico de los suelos. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 76, 77)

#### **Conclusiones de los estudios y trabajos realizados:**

Los resultados pertenecientes al área de mecánica de suelos que se realizaron para el proyecto, permitieron realizar las siguientes conclusiones:

- Los suelos encontrados en las zonas donde se establecerá el eje principal del proyecto y desde el cual se podrán derivar los ramales para la red de distribución son suelos residuales con rocas sedimentarias como limolitas, lutitas y rocas areniscas.

- Mediante los ensayos de clasificación se definió al material residual como suelos de color café amarillento, de tipo limoso y arcilloso, de alta plasticidad, con un contenido de humedad que va de mediano a alto grado y con una consistencia medianamente dura que va aumentando conforme aumenta la profundidad de extracción.
- En el sistema de clasificación SUCS estos suelos fueron clasificados como CH y MH correspondientes a arcillas de alta plasticidad y limos de alta plasticidad con características expansivas, cabe recalcar que se encontraron en una menor proporción a los ya mencionados suelos finos de baja plasticidad como CL y ML correspondientes a arcillas de baja plasticidad y limos de baja plasticidad mezclados respectivamente con suelos areno limosos y areno arcillosos SM y SC respectivamente.
- Para la cimentación de los Tanques se consideró realizar una excavación de 1 a 2 metros de profundidad ya que de acuerdo con los ensayos de penetración estándar se pudo evidenciar que los suelos luego de esa profundidad son suelos competentes que presentan capacidades no menores de  $5T/m^2$  en el peor de los casos en donde se puede recomendar un breve mejoramiento del sustrato.
- Las dimensiones de los tanques fueron diseñadas para localizarse lo más alejados posible de los taludes que presenten inestabilidad o mala calidad del suelo que los conforman, adicionalmente su ubicación deberá ser lo más centrada posible respecto de la cota de cimentación para garantizar una buena distribución de la carga sobre el suelo.
- Los suelos arcillosos y limosos que presenten una alta capacidad de expansión deberán ser tratados y controlados para contrarrestar posibles presiones de expansión que originen problemas y daños estructurales de las obras en cuestión. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 76-77).

La siguiente tabla muestra las capacidades portantes admisibles que se obtuvieron en los ensayos realizados con el fin de determinar la capacidad del terreno y las profundidades de cimentación requeridas para el proyecto en cuestión (ACSAM Consultores, 2015, pág. 77).

**Tabla 4: Valores de capacidad portante admisible del terreno**

SITIO	SONDEO	Profundidad de cimentación (m)	Capacidad portante (T/m <sup>2</sup> )
15 de marzo	P – 1	2.0	10.0
	P – 2	2.0	11.0
Aire Libre	P – 3	1.0	22.5
	P – 4	2.0	7.5
Betania	P – 5	2.0	13.5
	P – 6	2.0	9.0
Barrio Chone	P – 7	1.0	17.5
	P – 8	2.0	11.2
San Rafael	P – 9	2.0	10.0
	P – 10	2.0	10.0
Guacharaca	P – 11	1.0	16.2
	P – 12	1.0	20.0
Winchele	P – 13	1.0	11.2
	P – 14	1.0	21.2
Pegüe	P – 15	2.0	12.5
	P – 16	2.0	9.0
Planta de Tratamiento	P – 17	3.0	10.0
	P – 18	2.0	16.2
Camarones	P – 19	1.0	12.5
	P – 20	1.0	21.2
Piedras	P – 21	1.0	30.0
	P – 22	1.0	30.0
Tachina	P – 23	2.0	10.0
	P – 24	1.0	30.0
San Mateo	P – 25	1.0	12.5
	P – 26	1.0	11.2
Buen Pastor	P – 27	1.0	15.0
	P – 28	1.0	11.2
Tonchigüe	P – 29	1.0	17.5
	P – 30	1.0	20.0
Atacames	P – 31	1.0	18.7
	P – 32	1.0	16.2
Tonsupa	P – 33	1.0	21.2
	P – 34	1.0	13.7
Sua	P – 35	2.0	12.5
	P – 36	1.0	12.5

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 77)

### 2.4.3 Materiales

Los materiales principalmente usados para la construcción del nuevo sistema regional de agua potable Esmeraldas/Balnearios son hormigón, acero y PVC, tomando de las especificaciones acorde a los diseños definitivos del proyecto en cuestión se definió que para elementos de hormigón que resistan compresión se usará hormigón de  $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$  y para los replantillos será de  $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$ , también para el diseño correspondiente a las tuberías que conformaran las líneas de conducción primarias del sistema de agua potable se usará acero A572 gr 50 en donde las uniones se realizarán con suelda con una resistencia correspondiente a lo especificado en la normativa ASTM, así mismo los elementos estructurales de acero deberán ser construidos en taller con suelda MIG o MAG, en obra se usará suelda de arco con electrodo tipo E7018 (ACSAM Consultores, 2015, pág. 149).

El material que interesa ser analizado para los fines correspondientes a esta disertación es el acero con el que fueron elaboradas las tuberías que conforman la línea de conducción del sistema regional de agua potable, motivo por el cual es necesario analizar los espesores de la chapa de acero, ya que es fundamental determinar si este material está en condiciones de resistir los efectos del golpe de ariete que se analizarán en los siguientes capítulos, con el fin de determinar cualquier posible falla o rotura en la pared de la tubería.

### **Espesor de la tubería de acero**

En general los accesorios, las partes y las piezas que conforman el sistema de red de agua potable, así como la estación de bombeo y las líneas de distribución se encuentran bajo la influencia de esfuerzos que se generan por la presión de trabajo a la cual funciona el sistema, esfuerzos que se originan en la pared de la tubería de acero y en los conductos internos de los accesorios del sistema, los cuales si superan los esfuerzos admisibles a los que fue diseñado el elemento estructural pueden causar fallas repentinas y por consecuencia el colapso del sistema, o en otros casos pueden causar el deterioro acelerado del sistema y mal funcionamiento del mismo, en este caso el espesor de la tubería que es uno de los intereses principales a tratar en el desarrollo de esta disertación, considero en su análisis, los estados de presión normal o permanente de trabajo, y estados de sobrepresión de trabajo o estados transitorios (ACSAM Consultores, 2015, pág. 108).

Principalmente el objetivo de la verificación de los espesores de la tubería de acero correspondiente a las líneas de conducción y a los accesorios del sistema es el de asegurar que el material pueda ser capaz de absorber las presiones que se generaran al iniciar con el funcionamiento del sistema de agua potable (ACSAM Consultores, 2015, pág. 108).

#### **2.4.4 Datos de demanda**

Para la determinación de los datos de demanda, primero es necesario realizar una descripción detallada de la población y de las áreas que serán servidas por el nuevo sistema regional de agua potable para la provincia de Esmeraldas y su zona de influencia, iniciando con la descripción del sistema existente se sabe que la demanda actual se encuentra compuesta por un área de cobertura aproximada de 3993.2 hectáreas de las cuales se estima que el 62,5% es perteneciente al cantón Esmeraldas, que el 32,4 % corresponde

aproximadamente al cantón de Atacames y que finalmente el 5,1% restante es correspondiente al cantón Rio Verde. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 10, 11)

Con respecto a la población actualmente conectada al servicio se estima que ha alcanzado un estimado de 38190 abonados que se encuentran en estado activo y tienen acceso a una conexión de tipo domiciliaria, estos representan 180964 habitantes servidos, contando con un promedio aproximado de 4,73 habitantes por conexión, en estas condiciones se ha estimado que la cobertura ha alcanzado un porcentaje del 82,4%. Cabe aclarar que la composición de la demanda es netamente residencial en un 96,14% y que únicamente un porcentaje correspondiente al 3,84% de los usuarios del sistema pueden ser catalogados como consumos Comerciales, Industriales o Institucionales. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 10, 11)

En base a la información obtenida mediante el aporte del Departamento de Comercialización y análisis de consumos correspondientes a los meses de Julio y Noviembre del año 2011 se determinó que el consumo medio por conexión es de 21  $m^3$ /mes, valor que se considera normal tomando en cuenta que se trata de un sistema en el cual prácticamente todos los consumos son de carácter residencial. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 10, 11)

En las siguientes tablas se presentan las características de consumo del sistema:

**Tabla 5: Características de la micro medición**

Ciclos	Abonados		Cons. mensual (m3)		Pob Servida (hab)
	Total	Activos	Total	Abonado	
1	6425	5463	121207	22	30401.65
2	4646	3750	138666	37	18590.37
3	3170	2655	57656	22	12010.71
4	3444	2807	52215	19	13646.49
5	3018	2154	31252	15	8874.29
6	6892	6079	143555	24	30271.49
7	7825	7189	118878	17	32364.48
8	575	490	6715	14	3133.21
9	8839	7603	121878	16	31347.74
10*	969	0	0		0.00
<b>Total</b>	<b>45803</b>	<b>38190</b>	<b>792022</b>	<b>21</b>	<b>180640</b>
Fuente: EPA San Mateo, datos del mes de febrero de 2012					
Elaboración: ACSAM Consultores					
* Este ciclo no está facturado ni contabilizado, debido a que no recibe agua					

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 10)

**Tabla 6: Usuarios por sector y categoría de consumo**

Ciclo		Categoría de usuario				
N°	Sector	Residencial	Comercial	Industrial	Oficial	Total
1	Las Palmas, Coquito, La Catedral	5296	157	6	4	5463
2	Santas Vainas, Aire Libre, Mina de Piedra	3745	4	0	1	3750
3	Parque Central	2402	251	1	1	2655
4	Estadio	2698	106	0	3	2807
5	Autoridad Portuaria, Arenal, La Barraca	2110	43	1	0	2154
6	Codesa, petroindustrial, C. Muchachos, Victoria	5957	108	14	0	6079
7	Tolita, Sn Rafael, Vuelta Larga	7127	58	3	1	7189
8	San Mateo	484	6	0	0	490
9	Tonsupa, Sn Carlos, Atacames, Sua, Same, Tonchique	6896	703	2	2	7603
10*	Tachina, Camarones, Cabuyal, Rioverde.	0	0	0	0	0
<b>Total clientes activos</b>		<b>36715</b>	<b>1436</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>38190</b>
Total Clientes Inactivos		5648	110	0	1	5759
Total Abonados		42363	1546	27	13	43949
<b>% Clientes activos</b>		<b>96.14</b>	<b>3.76</b>	<b>0.07</b>	<b>0.03</b>	<b>100.00</b>

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 11)

Con estos datos de consumo y de usuarios del sistema, se debe considerar el hecho de que en el sistema existente hay un alto porcentaje de agua no contabilizada, que de acuerdo a

estudios realizados mediante la medición de caudales de entrada y salida con respecto a la planta potabilizadora y adicionalmente ayudados por la información obtenida por la EAPE, se contempla que las redes de agua potable presentan un índice de agua no contabilizada de aproximadamente el 46% a nivel netamente de distribución, el sistema estando sometido a estas condiciones de operación y de funcionamiento, ha llegado a un punto en que solamente es capaz de brindar un servicio de carácter intermitente y racionado, a todo esto se le debe sumar el hecho de que varios de sus componentes ya han cumplido con su vida útil, presentando así problemas de tipo físico y operativo, concluyéndose finalmente que el sistema actual no cumple con los estándares de servicio apropiados ya que su capacidad no es adecuada para suplir las necesidades de demanda actual, así como tampoco las de demanda futura, condiciones que limitan de manera considerable la eficiencia y la calidad del servicio (ACSAM Consultores, 2015, pág. 10 a 11).

#### **2.4.4.1 Análisis de la demanda**

Con el objetivo de realizar un análisis de demanda apropiado de la zona de influencia del proyecto se procedió a definir la población actual, y futura mediante la elaboración de un análisis demográfico en el software de aplicación SPECTRUM, el cual ocupa el método estándar de agrupación de componentes llamados "cohortes", considerando fundamentalmente cuatro factores de carácter básico que inciden en el desarrollo poblacional de una zona, estos corresponden a los factores de nacimiento, defunción, emigración e inmigración y adicionalmente del valor de fecundidad en la población femenina a edades fértiles, es decir la relación de neo natos y la población en edad fértil contemplada de entre 15 a 49 años (ACSAM Consultores, 2015, págs. 35, 36).

Para el análisis de demanda se realizó el estudio correspondiente a las tasas de crecimiento de la población para los periodos inter censales, con el fin de determinar la tendencia de crecimiento poblacional a futuro; continuando con el análisis se pudo establecer qué para los cantones de Esmeraldas, Atacames, y Río Verde se cuenta con tres hipótesis fundamentales de crecimiento poblacional, las cuales corresponden a las hipótesis Alta, Media y Baja, a las cuales les corresponde respectivamente un análisis socio económico (ACSAM Consultores, 2015, págs. 35, 36).

A continuación, se presentan las tres Hipótesis con sus respectivas premisas de análisis.

## **A. HIPÓTESIS ALTA**

La hipótesis alta se desarrolla tomando en cuenta la tendencia de crecimiento poblacional positiva que deja el saldo migratorio neto de cada cantón, tanto para el género masculino como para el femenino, en este modelo se llega a asumir que la tendencia migratoria es constante basándose en los datos históricos de la zona.

Para poder asumir esta hipótesis se establecieron varias premisas, donde las más relevantes se presentan a continuación.

- Se considera un movimiento positivo en la tasa de emigración o por lo menos se considera que el número de personas en condiciones emigratorias se reduce con respecto al desarrollo de la población, fenómeno que incide de manera directa en el crecimiento poblacional.
- La distribución para el porcentaje de fertilidad en la población femenina correspondió a los cantones con mayor peso en población de este género, el cual correspondía a los 20 a 24 años de edad.
- Adicionalmente se utilizaron los mismos porcentajes de migración establecidos en los datos históricos correspondientes a cada grupo de edad (ACSAM Consultores, 2015, pág. 36).

## **B. HIPÓTESIS MEDIA**

Para el desarrollo de esta hipótesis se contempló el promedio de los valores obtenidos para la hipótesis alta como para la hipótesis baja que se presentara a continuación. La hipótesis media constituye la hipótesis seleccionada para el desarrollo de los estudios poblacionales correspondientes, tanto para hombres como para mujeres, hipótesis aplicable para los periodos del 2011 al 2040 (ACSAM Consultores, 2015, pág. 37).



Una vez definida la proyección demográfica adecuada para la región del proyecto, se procede a distribuir estos datos de crecimiento poblacional a nivel de todos los centros poblados considerados para el desarrollo del sistema regional de agua potable. El criterio de asignación y distribución partió del crecimiento poblacional y de su composición tal como se muestra en la Tabla 7, basándose principalmente en las zonas pobladas y en los sectores censales, adicionalmente tomándose en cuenta la topología y distribución humana en la zona, lo que permite establecer que una zona censal puede estar constituida por uno o más sectores de distribución del servicio (ACSAM Consultores, 2015, págs. 36, 37).

**Tabla 7: Población servida por períodos**

SISTEMA	RED	POBLACIÓN (hab)						
		2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
<b>ESMERALDAS</b>	Chone	19955	20859	22489	23943	25243	26482	27572
	Betania	11570	12793	14615	16466	18416	20559	22876
	Santa Cruz	24532	25687	27745	29597	31273	32891	34342
	Guacharaca	23188	24839	27457	29950	32379	34875	37348
	Aire Libre	25808	27255	29499	31447	33691	35557	37235
	15 de Marzo	25657	27871	31225	34482	37736	41134	44585
<b>DIRECTO CONDUCCIÓN</b>	Tolitas	5560	5963	6595	7194	7774	8364	8941
	San Rafael	24404	26165	28931	31549	34087	36668	39194
<b>BALNEARIOS</b>	Buen Pastor	2418	2581	2840	3084	3327	3569	3806
	Tonsupa	13176	14599	16994	19396	21827	24293	26768
	Atacames	12721	14103	16384	18620	20833	23027	25176
	Súa	4006	4444	5152	5830	6483	7113	7712
	Same	690	765	889	1012	1133	1255	1374
	Tonchigüe	4705	5215	6062	6895	7725	8552	9366
<b>DIRECTO CONDUCCIÓN</b>	Villas de	1556	1702	1920	2134	2350	2578	2813
	Red Nueva	3563	3822	4229	4615	4993	5378	5758
	Conducción 1	158	169	186	202	218	234	249
	Conducción 2	87	96	111	125	139	154	168
<b>SECTORES DEL NORTE</b>	San Mateo	2087	2228	2452	2662	2871	3080	3285
	Tachina	2867	3060	3368	3657	3944	4232	4513
	Piedras	553	590	649	705	760	816	870
	Camarones	1018	1087	1196	1299	1401	1503	1603
	Pegüe	344	367	404	439	473	508	542
	Rioverde -	7938	8589	9658	10698	11699	12654	13558
<b>POBLACIÓN PROYECTO</b>	Fija	218.561	234.848	261.052	286.002	310.777	335.473	359.654
	Flotante	134.769	140.055	148.785	157.578	166.246	175.100	184.032
	Total	353.330	374.904	409.837	443.580	477.023	510.573	543.686

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 36)

## **C. HIPÓTESIS BAJA**

Para el desarrollo de la hipótesis de crecimiento poblacional baja se procedió a utilizar una tasa de crecimiento migratorio negativa que fue obtenida a partir de los datos de la serie histórica de los años 2001 a 2010, datos registrados en cada cantón, y además se tomó en cuenta la posible disminución en la vida vegetativa de la población, para aceptar esta hipótesis se contemplaron las siguientes premisas (ACSAM Consultores, 2015, págs. 36, 37).

Se consideró una restricción al movimiento migratorio, con una tendencia que incida de manera directa al crecimiento poblacional de la zona, como lo son restricciones migratorias emitidas por parte del gobierno, por las condiciones socio económicas del país y por una concienciación de parte de la población, factores que permitan regular de manera general el crecimiento poblacional, vegetativo y migratorio de la zona en análisis.

Se asumieron políticas que permitan el fortalecimiento de la economía de carácter urbana y rural de la zona, fomentando un continuo crecimiento económico propiciado principalmente por el turismo formal o informal de la zona (ACSAM Consultores, 2015, pág. 36 a 37).

### **2.5 Análisis hidráulico**

Mediante el análisis hidráulico se buscó establecer la capacidad de los componentes del sistema de abastecimiento y distribución de agua potable de la red, con el objetivo fundamental de poder definir las deficiencias que este presenta y de esta manera poder recurrir a realizar los ajustes y correcciones necesarias con el fin de poder integrarlos al nuevo sistema de manera directa o de manera paulatina mediante la implementación de obras civiles de rehabilitación y complementarias (ACSAM Consultores, 2015, págs. 17, 18).

## **Cálculos hidráulicos**

Apoyándose en los análisis de población y dotación tratados anteriormente, las demandas futuras se han obtenido a través de las siguientes fórmulas:

### **Caudal Medio Diario (Qmd)**

Representa el consumo medio anual diario

$$Qmd = P \times Dbruta / 86400 = (l/s)$$

Dónde:

P = población servida futura = habitantes

Dbruta = dotación bruta = l/(hab x día) (ACSAM Consultores, 2015, págs. 72,73).

### **Caudal Máximo Diario (QMD)**

Representa el consumo máximo de un día presentado durante un año.

$$QMD = KMD \times Qm$$

En donde KMD = 1.4; Coeficiente de variación de consumo máximo diario.

El valor de KMD=1.4, correspondiente al valor medio propuesto por las normas del Ex-IEOS (estas normas recomiendan valores entre 1,3 a 1,5) (ACSAM Consultores, 2015, págs. 72, 73).

### **Caudal Máximo Horario (QMH)**

Representa el consumo máximo de una hora presentado durante un año

$$QMH = KMH \times QMD = KMH \times KMD \times Qmd = K2 \times Qmd$$

En donde  $KMH = 2$ , Coeficiente de variación de consumo máximo horario.

Al igual que en el caso del caudal máximo diario, al no existir información que permita la determinación del coeficiente respectivo para la variación del consumo máximo horario  $K2$ , se ha procedido a tomar un valor correspondiente a 2, apegándose a las consideraciones del Ex IEOS (ACSAM Consultores, 2015, pág. 73).

### **Caudal contra incendios**

Se adopta lo señalado en las normas del Ex-IEOS, cuyo número y caudal depende de la población servida futura. Para este proyecto, aplicamos como norma general, en cada red cuatro hidrantes de 10 l/s cada uno, ubicados dos en el centro y dos en la periferia (ACSAM Consultores, 2015, pág. 73).

### **Caudal de Diseño**

Referente al diseño de los componentes se procede a aplicar las normas de diseño presentes en el Ex IEOS, dependiendo del componente que se vaya a diseñar (ACSAM Consultores, 2015, pág. 72 a 73).

- Captación de aguas superficiales =  $QMD + 20\%$
- Conducción de aguas superficiales =  $QMD + 10\%$
- Planta potabilizadora =  $QMD + 10\%$
- Conducción agua tratada a gravedad =  $QMD$
- Red de distribución =  $QMD + \text{incendio}$ ; comprobando las presiones con  $QMH$  (ACSAM Consultores, 2015, págs. 73, 74)

De todos los datos presentados se ha asumido todos, con una clara excepción de las conducciones de agua potable a gravedad, para las cuales se aplicó el  $QMD$  más un 3% debido al conocimiento que se tiene del sistema existente en la actualidad y en el cual se ha podido constatar que existe un claro desperdicio de agua en las líneas de conducción principal del sistema actual. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 74)

Con lo anteriormente señalado los caudales de diseño que se adoptaron para el diseño del sistema de conducción de agua potable de la ciudad de Esmeraldas son los siguientes:

**Tabla 8: Sistema regional de agua potable Esmeraldas (Caudal de proyecto por períodos)**

Componente	CAUDAL DE PROYECTO POR COMPONENTES (l/s)									
	2010	2011	2012	2013	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Cap. aguas superficiales	2075	2149	2218	2291	2452	2687	2886	3092	3308	3538
Conducción Agua Cruda	1902	1970	2033	2100	2248	2463	2646	2834	3032	3243
Conducción Agua Potable	1781	1844	1903	1966	2105	2307	2478	2654	2839	3036
Planta de potabilización	1902	1970	2033	2100	2248	2463	2646	2834	3032	3243

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015, pág. 74)

### Volumen de Reserva

El volumen de reserva ha sido calculado mediante el uso de la normativa Ex IEOS en donde se define que el volumen correspondiente al total de almacenamiento es igual a la suma de todos los volúmenes de regulación, de incendios, de emergencia y al volumen correspondiente a la planta de tratamiento, esto es así:

- Volumen de regulación: igual al 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.
- Volumen de protección contra incendios=  $V_i = 100 \cdot \sqrt{P}$ ; en donde:  
 $P$  = población en miles de habitantes  
 $V_i$  = volumen para protección de incendios en m<sup>3</sup>.
- Volumen de emergencia: igual al 25% del volumen de regulación (ACSAM Consultores, 2015, pág. 74)

### Pérdidas de Carga

Para el cálculo de tuberías a presión, se propone el empleo de la fórmula experimental de Hazen-Williams, cuya expresión es:

$$J = 10,643 \cdot L \cdot Q^{1.85} \cdot C^{-1.85} \cdot D^{-4.87}$$

Dónde:

$J$  = Pérdida de carga por fricción en m.

$L$  = Longitud de la tubería en m.

$C$  = Coeficiente de pérdida de carga, dependiente del material y estado de la tubería.

$Q$  = Caudal en  $\text{m}^3/\text{s}$ .

$D$  = Diámetro de la tubería en m.

Los valores del coeficiente de pérdida de carga,  $C$ , adoptados para la evaluación y diseño del sistema son:

Para tuberías de PVC: 130

Para tuberías de acero: 130

Tuberías de hierro dúctil: 120 (ACSAM Consultores, 2015, pág. 74).

### **Velocidades máximas**

Para el diseño de las conducciones de agua cruda y agua tratada el criterio de las normas del Ex-IEOS, que recomiendan los siguientes valores de velocidades máximas:

Acero: 6 m/s.

Hierro: 4 a 5 m/s.

Plástico: 4,5 m/s. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 75).

A pesar del criterio del Ex-IEOS, según otra bibliografía técnica, las velocidades en las conducciones se limitan a 3 m/s o inclusive a 2 m/s. Considerando lo uno y lo otro, para el proyecto, se ha limitado la velocidad máxima a 3 m/s. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 75).

## **Diseño hidráulico de las redes de conducción**

Los principales aspectos en el diseño de las redes de conducción fueron modelados mediante la utilización de los programas de diseño WATERGEMS v8i y EPANET, en donde a manera de datos de partida se utilizó un esquema de ubicación de los tanques de reserva, y de las cotas sobre las cuales se encuentran ubicados, así como de la respectiva ubicación y cota correspondiente a los nudos, ya sean estos de demanda o simplemente nudos de paso de caudal, adicionalmente se realizó la inserción de datos correspondientes a los diámetros de las tuberías y las longitudes de las mismas. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 129, 130)

Todos los datos de entrada mencionados anteriormente son obtenidos de los planos, y de los cálculos de pre diseño, así como la cuantificación de la distribución poblacional, el porcentaje de ocupación del suelo, demandas para los sectores y zonas que serán influenciadas por el servicio, cabe mencionar que se respetaron los datos generados por el levantamiento topográfico, como lo son las longitudes y cotas del levantamiento, además como se había mencionado anteriormente bajo el estricto criterio de utilizar las tuberías del sistema existente, se ha procedido a incorporar al diseño para el nuevo sistema los diámetros de las tuberías existentes y las longitudes de las mismas, que fueron obtenidas de la respectiva medición en el plano (ACSAM Consultores, 2015, págs. 129, 130).

### **2.5.1 Consideraciones y criterios utilizados en los diseños definitivos**

Los criterios de diseño más relevantes que fueron aplicados al nuevo sistema de agua potable para Esmeraldas y su zona de influencia son presentados a continuación:

- Definición de los sectores que van a ser influenciados por el servicio del nuevo sistema teniendo en cuenta cotas aproximadamente homogéneas, esto aplicado a zonas de cotas altas que poseen un abastecimiento de carácter independiente respecto del sector de servicio para las zonas de cotas bajas.
- Delimitar todos aquellos sectores en base a la capacidad de la reserva que los va a servir.

- Delimitación de sectores de fácil control operacional, esto quiere decir, poder delimitar zonas que forman parte del sistema para las cuales, mediante el uso de 2 o máximo 3 válvulas de control se los pueda aislar del sistema general, sin que estos causen ninguna afectación al servicio de los sectores vecinos.
- Ejecutar la definición de transmisiones haciendo uso de un criterio independiente para aquellas áreas que se encuentran ubicadas en cotas muy bajas o muy altas, para que de esta manera se tenga como cota máxima dinámica alrededor de 50 m.c.a y que la cota estática sea controlada mediante el empleo de métodos de carácter hidráulicos.
- Por razones en donde no se pudo establecer con certeza un área industrial, el caudal respectivo para este tipo de uso se lo va a distribuir para redes correspondientes a: Buen Pastor, 15 de marzo, Tonsupa, Atacames, Same, Súa, Tonchigue, teniendo en cuenta que esta distribución considera la variación que se dará con respecto al caudal durante el periodo de diseño.
- Con respecto al diseño de las conducciones, se ha controlado que las velocidades alcanzadas dentro de los tubos no superen los 3 m/s y que las pérdidas de carga sean menores a 7m/Km, todo esto se lleva a cabo con el criterio fundamental de mantener un balance entre los costos de servicio y de duración del sistema.
- Con respecto al diseño de las conducciones de agua potable se ha empleado un criterio de máxima reutilización de las tuberías del sistema existente, para lo cual se realizó un análisis hidráulico que permitió determinar el diámetro de alivio requerido para que la tubería existente y la tubería de alivio al funcionar en paralelo sean capaces de transportar la misma cantidad de agua con una pérdida de carga total casi igual, análisis que reflejo que la tubería existente no es aprovechable ya que solo fue capaz de transportar aproximadamente el 50% del caudal requerido para el proyecto actual.
- La Provincia y zona del proyecto se encuentran en alto riesgo de incidencia sísmica, además se sabe que los suelos son altamente expansivos por lo que se concluye que

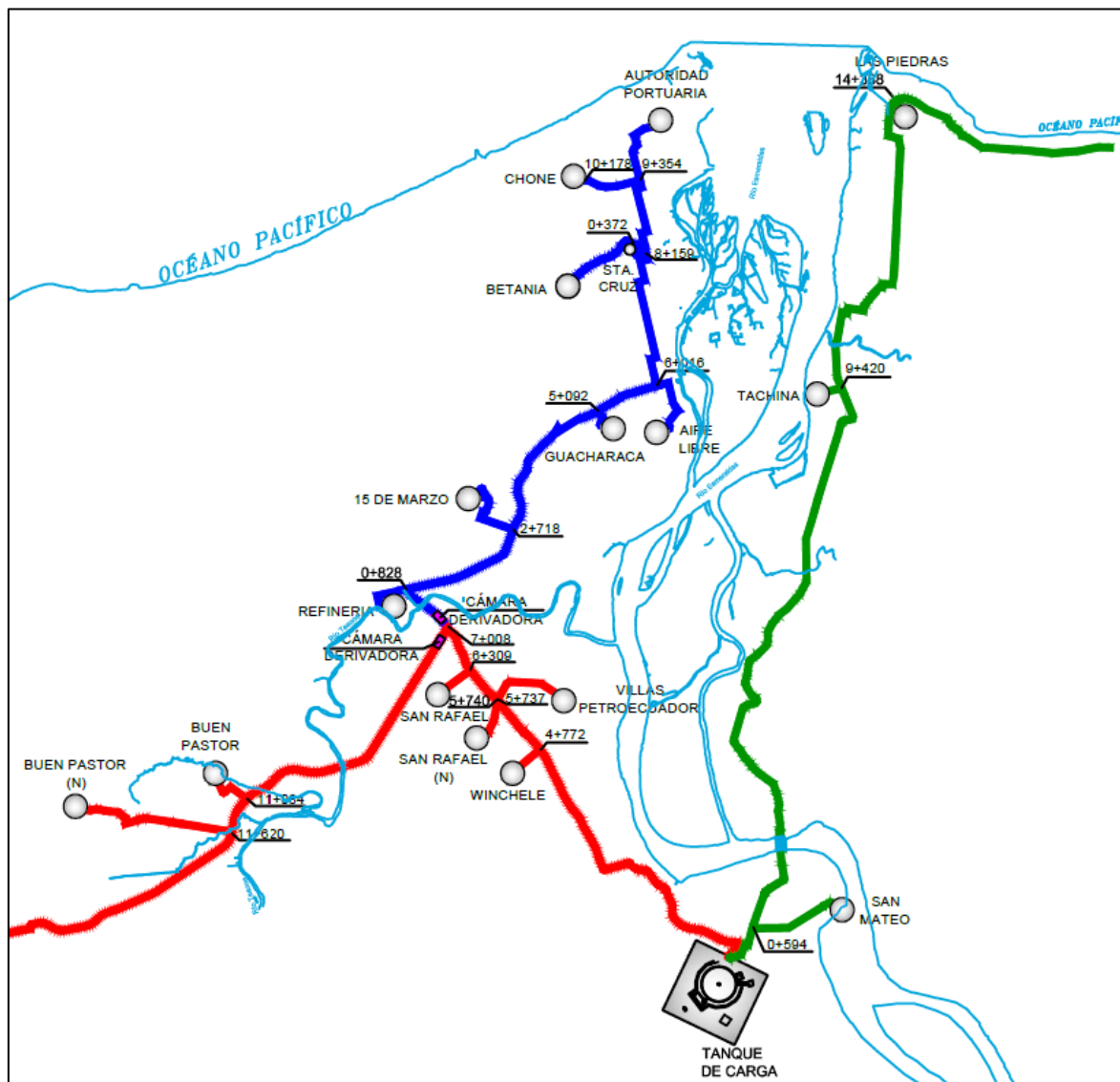


la nueva conducción no reutilizará ningún tramo existente de tubería antigua y que el material de la tubería será de acero. (ACSAM Consultores, 2015, pág. 130).

- El sistema regional de agua potable de Esmeraldas está integrado por varios componentes que tienen la capacidad para atender la creciente demanda del sector, por lo cual se los diseñó con criterios que permitan aprovecharlos al máximo hasta su periodo de diseño, las nuevas obras que se diseñaron para conformar el nuevo sistema regional presentan los siguientes criterios y características de diseño:
  - a) La Captación existente mediante la adición de pequeños trabajos de acondicionamiento y rehabilitación se mantiene en el nuevo sistema regional de agua potable para Esmeraldas, tomando en consideración la profundización de la cota de los pozos de bombeo para cumplir con condiciones de hidráulica te tipo operacional de los nuevos equipos de bombeo, lo cual conllevara al cambio de las compuertas que se encuentran ubicadas al nivel de la plataforma de ingreso del agua, con el fin de asegurar un adecuado caudal y nivel de agua mínimo en cada pozo de succión y operación.
  - b) El sistema de bombeo, que se encuentra equipado por 5 bombas sumergibles que bombearan dentro de la primera etapa del proyecto un caudal de 2,2 m<sup>3</sup>/s, podrá mantener en operación 4 bombas de 0,55m<sup>3</sup>/s y mantendrá una bomba de las mismas características, pero en modalidad pasiva o stand-by.
  - c) La línea correspondiente a la impulsión de aguas crudas existente con un diámetro nominal de 1200 mm, longitud de 1058 m fue conservada en su totalidad para todo el periodo de diseño del proyecto en su primera etapa en la cual adicionalmente solo se colocará una válvula de aire de 200 mm de carácter anti-surge.
  - d) Respecto a la conducción de agua potable esta se encuentra conformada por dos líneas principales, una que llega a abastecer la población de Esmeraldas y Balnearios Sur hasta Tonchigue y otra que abastece a las poblaciones del Norte hasta el tanque de Rocafuerte. (ACSAM Consultores, 2015, págs. 91, 92, 93).

El ramal que corresponde a Esmeraldas y Balnearios es totalmente nuevo, al cual en su recorrido se conectan varios ramales que abastecen a Winchele, Villas de Petroecuador y San Rafael, la Refinería, 15 de marzo, Guacharaca, Aire Libre, Betania, Santa Cruz, Chone y Autoridad Portuaria, y finalmente el otro ramal que se encuentra orientado al sur, y el cual abastece a los tanques del Buen Pastor, Tonsupa, Atacames, Súa y Tonchigue (ACSAM Consultores, 2015, pág. 92).

La ilustración a continuación muestra un esquema general de las obras y de los componentes del tramo “Tanque de Carga- Tanque Chone” perteneciente al nuevo sistema regional de agua potable de Esmeraldas.



**Figura 11: Obras y componentes del tramo “Tanque de carga- Chone”**

Tomado de (ACSAM Consultores, 2015)(no consta en la memoria de diseño definitivo)

## **CAPÍTULO III**

### **3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE EL GOLPE DE ARIETE**

#### **3.1 Definición y descripción general del fenómeno de golpe de ariete**

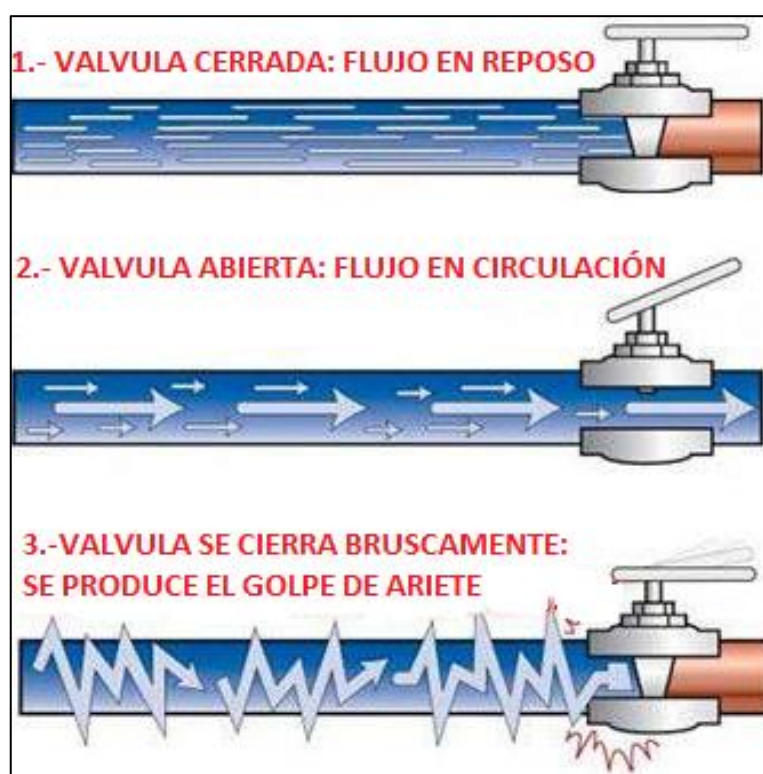
El fenómeno conocido como golpe de ariete o en otros medios conocido también como Transitorio Hidráulico, se origina debido a la variación o alteración de las presiones del agua, debido al movimiento ondulatorio que este fluido presenta en el interior de una tubería o conducto. La magnitud en los incrementos de presión que puede alcanzar este fenómeno debe tenerse en cuenta al momento de dimensionar las tuberías y conductos que transportan flujos a gravedad de manera continua, ya que el peligro de roturas o colapsos de estos conductos es inminente, debido a los efectos que se producen al realizar las maniobras rutinarias correspondientes al tipo de sistema de conducción, como se dan en el caso de las maniobras de detenimiento total, donde generalmente se producen los golpes de ariete de máxima intensidad, debido a que en resumen se transforma de manera total la energía de movimiento del líquido en energía de presión, mientras que por otro lado en el medio Hidráulico el efecto que produce la depresión no es muy importante, aún más si este efecto se desarrolla en conductos de pequeño diámetro (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, págs. 1, 2).

Por lo tanto, el cálculo y el estudio de este fenómeno debe ser correctamente direccionado, para llevar a cabo un diseño y dimensionamiento adecuados de las tuberías que transportaran el líquido en cuestión, ya que un cálculo erróneo o una interpretación inapropiada de este fenómeno puede conducir a un sobredimensionamiento de las conducciones, con lo que la instalación y construcción de un proyecto se puede encarecer de una forma innecesaria, o en el peor de los escenarios, se puede dar que la tubería calculada de manera errónea sin considerar los máximos efectos de este fenómeno llegue a colapsar por causa de roturas espontáneas generadas por los efectos de la sobrepresión en el conducto (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, págs. 1, 2).

### 3.2 El golpe de ariete en líneas de conducción

#### Descripción del fenómeno del golpe de ariete en líneas de impulsión.

En una línea de impulsión la parada violenta de las máquinas y de los motores de impulsión produce un fenómeno de compresión y aumento de presión, donde dicho fenómeno se origina aguas arriba más no en el punto de choque como se podría suponer, es decir este fenómeno se inicia aguas arriba de la bomba, y procede a trasladarse hacia el final de la línea de impulsión, mientras en su trayecto se produce el efecto de compresión del líquido que finalmente chocará contra una de las compuertas del conducto y causará una onda expansiva que generará incrementos de presión dentro de la línea dando paso al golpe de ariete (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, págs. 2, 3).



**Figura 12: Generación del golpe de ariete en conducciones a presión.**

Adaptado de (Useche, 2013)

## **Descripción del fenómeno de golpe de ariete en abastecimientos por gravedad**

Si se asume que dentro de un conducto o tubería, el agua se empieza a mover con una determinada velocidad y mediante el uso de una válvula de paso se reduce su velocidad totalmente, la parte de fluido que se encuentra más próxima a la válvula será detenida bruscamente y será empujada bruscamente por la parte de líquido que se encuentra en la parte posterior, teniendo en cuenta las características compresibles del agua, esta empezará a comprimirse en las proximidades del punto de choque, y el resto del líquido tenderá a comprimir al que le precede hasta que de esta manera su velocidad será nula e igual a cero (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, págs. 2, 3).

Producto de este comportamiento se forma una onda expansiva de máxima compresión que inicia en las cercanías de la válvula de paso o del punto de choque del fluido, y empieza a trasladarse al origen de partida del mismo, convirtiendo la energía cinética que llevaba el agua en energía de presión. Cuando el agua se llega a detener por completo, esta ya ha agotado su energía cinética y por ende se inicia la descompresión del fluido en el origen de la conducción, donde empieza a trasladarse nuevamente hacia la válvula y mediante el comportamiento oscilatorio que presenta el fluido esta energía de descompresión no logra encontrar un punto de equilibrio en el cual pueda detenerse, sino que al contrario sobrepasa este punto, para de esta manera iniciar nuevamente este proceso de compresión y descompresión, dando origen a variaciones ondulatorias de presión dentro del conducto que constituirán el fenómeno del golpe de ariete. En definitiva, se originan transformaciones energéticas en donde la energía cinética inicial que presenta el agua trasladándose dentro del conducto o tubería se convierte en energía de presión y viceversa, dando al fluido un comportamiento elástico (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, págs. 2, 3).

## **Causas que originan el golpe de ariete**

Como se ha mencionado con anterioridad el fenómeno del golpe de ariete se origina debido a una variación brusca y repentina de presión dentro de un conducto a presión, generalmente en los sistemas de conducción de agua potable, las principales causas que generan este fenómeno son las que se explican a continuación:

#### **a) Operación de bombas (maniobras de arranque y detenimiento)**

Mediante la operación de bombas en un sistema de conducción de agua potable, para los casos de arranque y detenimiento de las mismas, es importante entender que muchas veces estos equipos no trabajan de forma continua, ya que por motivos económicos o en varios casos limitaciones de funcionamiento, se requiere que estos equipos funcionen en determinados intervalos de tiempo durante el día, horas que muchas veces resultan suficientes para cumplir con la demanda del proyecto de agua potable. Asimismo se debe comprender que en varias ocasiones el funcionamiento continuo de estos equipos de bombeo se ve afectado e interferido debido a fallas fortuitas, tales como son la interrupción de energía eléctrica o una falla propia de la bomba en pleno funcionamiento, o cuando por algún motivo se ha excedido la capacidad de los tanques de reserva, así como también cuando se detecta alguna irregularidad o desperfecto en la línea de conducción, o finalmente en el menor de los casos cuando se desea brindar mantenimiento a las bombas (Ortiz Masek, 2006, pág. 19).

#### **b) Operación de válvulas (maniobras de apertura y cierre)**

En un sistema de agua potable la utilización de válvulas es completamente necesaria para cumplir con varios requerimientos como lo son, la regularización de caudal transportado, así como también para evitar que se produzca una inversión en el sentido del flujo en ciertos tramos del sistema, también son utilizadas para la absorción de excesos de presión en el sistema, en general el uso de válvulas en un sistema de distribución de este tipo es utilizado para alcanzar un control del flujo dentro del conducto de distribución, por ende muchas veces estos accesorios deberán cumplir la función de detener el flujo, en cuyo caso se producirá una variación en la presión a la cual se encuentra sometido el conducto dando origen al fenómeno del golpe de ariete (Ortiz Masek, 2006, págs. 19, 20).

#### **Efectos producidos por el golpe de ariete**

Debido al aumento violento de la presión dentro de un sistema de distribución de agua potable, se ocasiona el desarrollo del fenómeno del golpe de ariete, producto de esto se

generarán ciertos efectos negativos sobre la tubería del sistema, los cuales se presentan a continuación:

**a) Vibraciones.**

Debido a la variación de presión que se genera dentro del sistema de agua potable, se producen vibraciones que casi siempre son absorbidas por el medio en el que se desarrollan, de forma más específica son absorbidas por las tuberías y por cualquier accesorio cercano al tramo afectado, este efecto de vibración tiende a debilitar la estructura de forma global, disminuyendo su resistencia, causando agrietamientos en las paredes de la tubería y por consiguiente causando fugas de líquido, igualmente las vibraciones si tienen un carácter recurrente pueden causar inestabilidad en el terreno sobre el cual se encuentra establecido el sistema ya que estas vibraciones podrían interferir con la cohesión del suelo generando desplazamientos diferenciales, hundimientos e inestabilidades que pondrán en peligro la integridad del proyecto, es importante comprender que este efecto tiende a degradar el sistema conforme el golpe de ariete se vuelve más y más recurrente (Ortiz Masek, 2006, pág. 20).

**b) Falla y colapso de válvulas, bombas y accesorios.**

Como se sabe al momento de realizarse el diseño de un proyecto de agua potable, cada elemento que lo conforma es diseñado para que pueda resistir un determinado valor máximo de presión e incluso son diseñados con factores de seguridad que permiten soportar un valor que sobrepase dicha presión máxima de trabajo, sin embargo el aumento de presión que ocurre al generarse el fenómeno del golpe de ariete en muchos casos tenderá a sobrepasar dichos valores límite, causando fallas y desperfectos en equipos y accesorios cuyo correcto funcionamiento es fundamental para el sistema de agua potable, en dichas circunstancias se deben realizar reparaciones de emergencia o incluso se deben realizar cambios de los componentes afectados, escenarios que casi siempre implicaran detener el funcionamiento del sistema causando la interrupción del servicio de agua potable para la comunidad en cuestión (Ortiz Masek, 2006, pág. 20).

### **c) Ruido**

La generación de ruido debido al desarrollo del golpe de ariete a lo largo de la tubería, quizás sea uno de los efectos menos peligrosos y nocivos para el sistema en forma general, pero afecta a las poblaciones cercanas al lugar donde se genera este fenómeno, ya que produce una sensación de inseguridad con respecto al sistema y un malestar auditivo que a la larga producirá alteraciones en la conducta de los moradores del sector que presentará indicios de estrés (Ortiz Masek, 2006, pág. 20).

### **d) Colapso y rotura de tuberías.**

Seguramente el escenario más crítico y por ende el menos deseable que puede suceder consiste en la rotura o en el colapso de algún tramo de la tubería debido a la generación del golpe de ariete, lo cual llevará a la suspensión inminente del servicio, hasta que se logre solucionar el problema que en muchos casos implicará el reemplazo del tramo de tubería afectada generando un alargue en la suspensión del suministro de agua potable para la comunidad, sin mencionar el costo económico que representa para la empresa tener que lidiar con los efectos que produce este fenómeno, si no es debidamente considerado y calculado en el diseño del sistema (Ortiz Masek, 2006, pág. 21).

## **3.3 Introducción al cálculo del golpe de ariete**

Con el fin de poder plantear las ecuaciones propias correspondientes al fenómeno del golpe de ariete, es importante comprender que este fenómeno se presenta en la naturaleza como una serie de ondas de presión, y que por tal situación el análisis y cálculo del golpe de ariete empieza con el planteamiento de las ecuaciones representativas de este fenómeno:

### **1.- Velocidad de propagación para las ondas de presión.**

$$c = \sqrt{\frac{Ev}{\rho}}$$

Donde si multiplicamos y dividimos para la gravedad (g) se obtiene:



$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma} * Ev}$$

Dónde:

$c$  = Velocidad de onda de presión

$Ev$  = Modulo de elasticidad volumétrico del fluido

$\rho$  = Densidad del fluido

$\gamma$  =Peso específico del Fluido

$g$  =Aceleración de la gravedad. (Ortiz Masek, 2006, págs. 22, 23).

**Tabla 9: Módulos de elasticidad volumétricos en base a la temperatura del medio**

TEMPERATURA °C	DENSIDAD DEL FLUIDO (Kg/m3)	MÓDULO DE ELASTICIDAD VOLUMÉTRICO (MPa)
0	1000.33	1981.62
5	1000.23	2050.29
10	1000.13	2109.15
15	999.44	2158.20
20	998.58	2107.44
25	997.38	2236.68
30	996.01	2266.11
35	994.44	2275.92
40	992.58	2285.73
50	988.46	2295.54

Tomado de (Useche, 2013)

## 2.-Módulo de elasticidad de un material

La capacidad de deformarse que posee un material se encuentra definida por su Modulo Elástico (E) calculado por la siguiente expresión:

$$E = \frac{\text{Incremento de Esfuerzo}}{\text{Incremento de la Deformación Unitaria}}$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 26)

En nuestro caso no será necesario calcular el módulo de elasticidad ya que se adopta el valor de  $E = 206,01 \text{ GPa}$ , correspondiente al Módulo de Elasticidad del Acero. Debido a que el acero presenta una elasticidad característica adicional, esta se debe reemplazar en la ecuación de la velocidad de propagación de onda para un módulo elástico combinado que represente el comportamiento del flujo conjuntamente con el comportamiento elástico del acero.

Por esta razón se presenta el valor del Módulo elástico Combinado que deberá sustituir al Módulo de elasticidad volumétrico en la ecuación anteriormente presentada.

$$Ec = \frac{1}{\frac{1}{Ev} + \frac{D}{e * E}}$$

Dónde:

$Ec$  =Módulo Volumétrico Combinado para el fluido dentro de la tubería de características elásticas.

$Ev$  =Módulo de Compresibilidad Volumétrica del Fluido

$E$  =Módulo de Elasticidad o Modulo de Young del material (Acero)

$D$  =Diámetro interno de la Tubería

$e$  =Espesor de la Tubería. (Ortiz Masek, 2006, pág. 30).

Reemplazando en la ecuación de la velocidad de onda obtenemos la siguiente expresión:

$$c = \sqrt{\frac{g}{\gamma * \left( \frac{1}{Ev} + \frac{D}{e * E} \right)}}$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 31)

### 3.- Tiempo de propagación de la onda de presión

El tiempo de propagación de la onda de presión que demora desde el punto inicial del fenómeno hasta el inicio de la Tubería y volver nuevamente al punto de origen se calcula de la siguiente manera:

$$T_{cr} = \frac{2L}{c}$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 31)

Dónde:

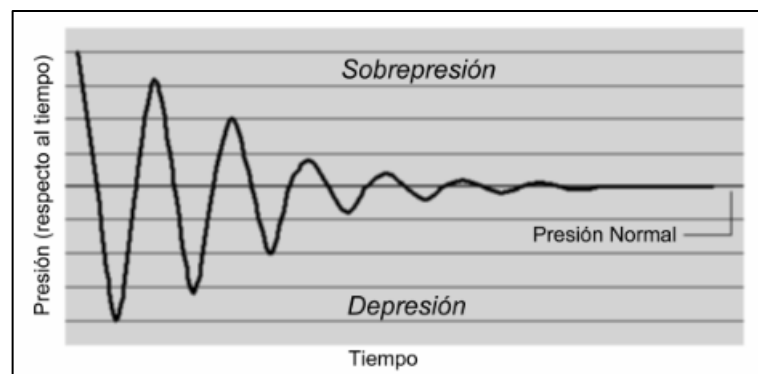
$T_{cr}$  = Tiempo de Propagación de la onda (s)

L= Longitud de la Tubería (m)

C=celeridad o velocidad de onda de presión (m/s)

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 33)

A este tiempo se le conoce como tiempo de Propagación de la Onda o tiempo critico o en su defecto como tiempo de fase, durante este tiempo la onda de presión permanece constante de donde se puede obtener el valor máximo para el golpe de ariete ya que durante este instante la onda no sufre pérdidas en su magnitud, pasado este tiempo la onda de presión comienza a disminuir su magnitud y decrece conforme a la resistencia que ofrezca la tubería en cuestión, finalmente continúan formándose ondas cada vez de menor magnitud hasta que se logra alcanzar el equilibrio dentro del conducto, este fenómeno se encuentra detallado en la siguiente figura:



**Figura 13: Disipación de ondas en el fenómeno de golpe de ariete**

Adaptado de: (Pérez Farrás, pág. 52)

## **Ecuaciones de cálculo para cada uno de los escenarios posibles**

### **Golpe de ariete por corte instantáneo del flujo**

Se sabe que al momento del corte instantáneo del flujo se generara una onda que se propagara con una velocidad o celeridad anteriormente definida como (c), y al pasar un determinado intervalo de tiempo  $\Delta T$ , el fluido sufre una desaceleración por consecuencia su masa desacelera obteniéndose una ecuación que represente a la masa desacelerada como:

$$m = \rho * A * (c * \Delta T)$$

Dónde:

m = Masa del fluido desacelerado

$\rho$  = Densidad del Fluido

A= Área Transversal Interna de la Tubería

$\Delta T$  = Intervalo de tiempo transcurrido luego del corte del flujo. (Ortiz Masek, 2006, págs. 35, 36)

Adicionalmente se sabe que la fuerza generada por la variación de presión para este caso se encuentra definida por la ecuación:

$$F = [PA - (P + \Delta P) * A]$$

Dónde:

A= Área Transversal Interna de la Tubería

P= Presión del conducto

$\Delta P$  = Cambio de la Presión debido al Golpe de Ariete. (Ortiz Masek, 2006, págs. 36, 37)

Aplicando la segunda ley de Newton despreciando la fricción dentro del conducto se obtiene:

$$F = m * a$$

Donde sabemos que la aceleración (a) es igual a:

$$a = \frac{dv}{dT}$$

Despejando y reemplazando en la segunda ley de Newton obtenemos la siguiente ecuación:

$$[PA - (P + \Delta P) * A] * \Delta T = \rho * A * (c * \Delta T) * \Delta V$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, págs. 36-37)

Si consideramos al golpe de ariete como la variación de la presión dentro del conducto, es decir consideramos a este fenómeno como ( $\Delta P$ ), de una manera simplificada podríamos decir que el golpe de ariete causado por la interrupción instantánea, total o parcial del flujo eliminando términos de la ecuación anterior y simplificando es:

$$\Delta P = -\Delta V * \rho * c$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 38)

Denotando a  $\Delta P$  es decir al golpe de ariete con sus respectivas iniciales obtenemos la siguiente ecuación:

$$GA = -\Delta V * \rho * c$$

Finalmente reemplazando la velocidad de propagación de onda (c) por su respectiva ecuación anteriormente definida obtenemos:

$$GA = -\Delta V \sqrt{\frac{\gamma}{g * \left( \frac{1}{Ev} + \frac{D}{e * E} \right)}}$$

Dónde:

$GA$  = Golpe de Ariete

$\Delta V$  = Variación de la velocidad de propagación de onda

$\gamma$  = Peso específico del fluido

$g$  = Aceleración de la Gravedad

$E\nu$  = Módulo de elasticidad volumétrico del fluido

$D$  = Diámetro interno del conducto o tubería

$E$  = Módulo de elasticidad del material o Modulo de Young del material

$e$  = Espesor del conducto o de la tubería. (Ortiz Masek, 2006, págs. 38, 39)

Cuando se da una interrupción del flujo instantánea o total la velocidad de propagación final es igual a cero por lo tanto se obtiene finalmente una ecuación que representa el Golpe de Ariete o la variación de la presión para un escenario de corte de flujo instantáneo o total que se muestra a continuación:

$$GA = V \sqrt{\frac{\gamma}{g * \left( \frac{1}{E\nu} + \frac{D}{e * E} \right)}}$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, págs. 39, 40)

Es importante resaltar que el escenario de interrupción instantánea del flujo en la realidad es un escenario inexistente, y lo que en realidad ocurre es una interrupción brusca al principio mientras se va cerrando la válvula conforme pasa el tiempo.

En pocas palabras se llega a considerar que la interrupción del flujo es rápida cuando el tiempo que se utiliza para completar con el proceso de corte de flujo es mayor a cero o por lo menos igual al tiempo en el cual se producirá el mayor efecto de golpe de ariete o sea cuando ese tiempo es igual al tiempo crítico o de fase ( $T_{cr}$ ).

Corte rápido o instantáneo de flujo:  $t_c \leq T_{cr}$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, págs. 40, 41)

### **Golpe de ariete por corte gradual del flujo**

Basándose en lo anteriormente aclarado se puede entender como corte gradual o paulatino de flujo a aquella acción o maniobra de corte donde el tiempo que se emplea para detener

el flujo es mayor al tiempo critico o tiempo de fase en el cual se producirá el máximo efecto de golpe de ariete.

Corte gradual:  $t_c > T_{cr}$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 42)

Claramente se puede llegar a concluir que este escenario no es el más crítico ya que el efecto que se produce por el incremento de presión debido al cierre gradual de las válvulas es menor que el que se produce por un cierre en teoría instantáneo o en la práctica un cierre rápido, esto se da gracias a que al ser el tiempo de corte mayor al tiempo crítico se le permite a la onda de presión viajar desde el punto de salida y retornar al mismo antes que se haya cerrado completamente el paso del flujo, impidiendo un incremento adicional de presión debido al choque que generalmente se produce al cerrarse completamente el paso del fluido (Ortiz Masek, 2006, pág. 42).

Para empezar con el análisis de este escenario se debe comenzar con el planteamiento de la ecuación del tiempo critico o de fase para una onda de presión que viaja desde su punto de origen, llega al extremo de la tubería o del conducto y procede a regresar a su punto de partida, como se había explicado anteriormente ese tiempo mínimo se expresa con la siguiente ecuación:

$$T_{cr} = \frac{2L}{c}$$

Dónde:

$T_{cr}$  = Tiempo crítico de Propagación de la onda (s)

L= Longitud de la Tubería (m)

C= velocidad de propagación de la onda (m/s) (Ortiz Masek, 2006, págs. 42, 43)

Así también se puede determinar el tiempo que se demora en recorrer una onda de presión una distancia cualquiera muy cercana al comienzo de la tubería o del conducto, distancia que llamaremos X por lo cual la ecuación para este tiempo será exactamente igual a la ecuación anterior, solo que se ha de reemplazar la distancia conocida L por una distancia cualquiera X así como se muestra:

$$T_c = \frac{2X}{c}$$

Dónde:

$T_c$  = Tiempo de corte del fluido (s)

X= Longitud puede desplazarse una onda por el cierre gradual (m)

C= velocidad de propagación de la onda (m/s) (Ortiz Masek, 2006, pág. 43)

De esta ecuación procederemos a despejar el valor de X con el fin de poder hallar a continuación el valor del golpe de ariete máximo bajo las condiciones de corte gradual del flujo.

$$X = \frac{c * T_c}{2}$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 43)

Por consiguiente, en el tiempo  $T_c$  la onda de presión alcanzaría a propagarse una distancia X según el tiempo que dure el cierre lento y gradual de las válvulas del sistema, mediante la comprensión de este concepto se ha hallado una ecuación que represente al golpe de ariete generado cuando se efectúa un corte gradual del flujo y que es presentada a continuación:

$$GA = \frac{L}{X} * \Delta P$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 44)

Sustituyendo el valor de X en la ecuación para el cálculo del golpe de ariete anteriormente presentada se obtiene la expresión completa de:

$$GA = \frac{2L}{c * T_c} * \Delta P$$

Tomado de (Ortiz Masek, 2006, pág. 45)



Para finalizar el análisis sustituimos a  $\Delta P$  por su valor correspondiente de  $\Delta V * \rho * c$  la ecuación final para el cálculo del golpe de ariete por corte gradual, total o parcial del flujo queda de la siguiente manera:

$$GA = \frac{2L\rho\Delta V}{tc}; \Delta V = V_f - V_o$$

Dónde:

$L$  = Longitud de la tubería

$\rho$  = Densidad del Flujo

$\Delta V$  = variación de la velocidad del flujo

$tc$  = Tiempo de corte del flujo

$GA$  = Golpe de Ariete (Ortiz Masek, 2006, págs. 45, 46)

### **Flujo permanente**

Se dice que un flujo se encuentra en estado permanente cuando las variables de estado tales como la velocidad, presión, densidad, sección, entre otras, no varían en función del tiempo; lo cual para efectos de la modelación hidráulica el software ALLIEVI plantea este estado como aquel en el que las derivadas parciales de dichas variables son iguales a cero para cualquier tiempo tal como se muestra:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0; \frac{\partial P}{\partial t} = 0; \frac{\partial A}{\partial t} = 0; \frac{\partial p}{\partial t} = 0$$

### **Flujo no permanente (Transitorio)**

Un flujo se encuentra en estado no permanente cuando las variables mencionadas anteriormente no permanecen constantes en el tiempo, como se muestra:

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial P}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial A}{\partial t} \neq 0; \frac{\partial p}{\partial t} \neq 0$$

Estas condiciones se deben gracias a las perturbaciones que se producen en el flujo de agua dentro del sistema de tuberías, ya sea por cambios de velocidad, presión, sección, densidad, entre otros (Allievi, pág. 10 a 11).

### **3.4 Software utilizado para el cálculo del golpe de ariete**

El programa de análisis y simulación ALLIEVI es un software cuyo objeto es permitir al usuario simular y analizar los efectos que se producen debido a la generación del fenómeno del golpe de ariete en sistemas de conductos o tuberías que conforman sistemas a presión para el transporte de líquidos, el software en cuestión fue elaborado por el ITA (Instituto Tecnológico del Agua), de la Universidad Politécnica de Valencia, a partir de su versión base diseñada por el maestro Edmundo Koelle, versión que se encontró programada en lenguaje QuickBasic. El programa ALLIEVI permite la simulación de escenarios típicos como la circulación de líquido por conductos a presión conectados por una serie de reservorios o tanques elevados a diferentes alturas y que generalmente se encuentran impulsados por conexión a estaciones de bombeo o por una combinación de estaciones y tanques de reserva (Allievi).

Debido a las características que presentan los sistemas de tuberías a presión es necesario el uso de elementos que permiten la regulación y el control de presión, velocidad y caudal, por este motivo se dispone de válvulas instaladas de forma autónoma o en serie. En un sistema de conducción hidráulico a presión como lo son las redes de agua potable se espera que el régimen de funcionamiento sea permanente y es en este escenario donde el fenómeno del golpe de ariete tiende a desarrollarse con una mayor probabilidad ya que generalmente los eventos que desencadenan la aparición de este fenómeno son las maniobras de operación y control del sistema de conducción que se ejecutan en los elementos tales como válvulas, compuertas y bombas de impulsión. La aparición de este fenómeno genera un peligro inminente en la integridad del sistema de conducción debido al brusco cambio en la presión que se produce, desde esta perspectiva en definitiva las acciones principales que generan la aparición de este fenómeno son el arranque y detenimiento de las bombas de impulsión del sistema, la apertura y cierre de las válvulas y finalmente el fallo imprevisto de cualquiera de los elementos antes mencionados o la rotura de la pared del conducto o de la tubería (Allievi, pág. 8 a 10).

Teniendo en consideración la variedad de problemas que se pueden generar por la aparición del fenómeno del golpe de ariete muchos de los problemas que se han mencionado anteriormente encuentran su solución bien al otorgar al sistema a presión la resistencia mecánica necesaria que este necesita para soportar los aumentos y variaciones de presión que se generan, o bien diseñar el sistema con la protección suficiente para atenuar las ondas de presión que se generan y de esta manera mantenerlas dentro del límite admisible que permite el material que constituye el sistema, pero para poder elegir la solución más adecuada es necesario el uso de un programa de análisis y diseño que permita realizar una serie de simulaciones lo más cercanas al fenómeno que se desarrolla en la realidad y que además de permitirnos realizar estas simulaciones permita obtener resultados como por ejemplo las oscilaciones y variaciones de presión en cada punto del sistema que se producirán por la ejecución de las maniobras de operación y mantenimiento ya explicadas anteriormente, esta es la razón fundamental de por qué se ha elegido el programa ALLIEVI (Allievi, pág. 8 a 10).

Como se ha indicado ALLIEVI es un programa que permite su manejo tanto en fases de proyecto como lo son el diseño, así como también en fases como la verificación de funcionamiento y operación de cualquier sistema hidráulico. En las fases iniciales como lo son las de diseño ALLIEVI permite la incorporación de varios mecanismos de control de presión como por ejemplo: chimeneas de equilibrio y disipación, válvulas de control y alivio, calderines y muchos más dispositivos de control, de forma que las variaciones de presión producidas por el golpe de ariete puedan ser atenuadas y como consecuencia se mantengan dentro de los parámetros admisibles que se hayan establecido en el diseño, por otro lado ALLIEVI también nos permite su uso y aplicación en la fase de control y de verificación del funcionamiento del sistema ya que el programa en si nos permite verificar visualizando los efectos que se producen por las variaciones de presión en los diferentes escenarios posibles relacionados con las maniobras de arranque y detenimiento de bombas, apertura y cierre de válvulas y escenarios un tanto mucho más críticos como por ejemplo la falla o rotura de tuberías en un tramo del sistema. El programa ALLIEVI resuelve las solicitaciones del fenómeno de golpe de ariete mediante la resolución de las ecuaciones de flujo con la aplicación del método numérico de las características (Allievi, pág. 8 a 10).

### 3.4.1 Fundamento de cálculo usado por ALLIEVI

El método de las características es el fundamento de cálculo del software ALLIEVI, en el cual el fenómeno del golpe de ariete se modela mediante la aplicación de las ecuaciones de la conservación de masa y de la cantidad de movimiento a un volumen cualquiera de líquido el cual contendrá la onda expansiva de presión que se moverá a lo largo de la tubería. De la aplicación de estas dos ecuaciones se logra obtener un sistema de dos ecuaciones diferenciales parciales no lineales que se encuentran en función de dos incógnitas, las cuales son la altura piezométrica y la velocidad que en este caso para llevar a cabo la explicación del fundamento teórico de cálculo del software se las llamara H y V, la forma que toma el sistema de ecuaciones se muestra a continuación:

Siendo V y H dos variables en función de x y t respectivamente con la forma:

$$H = H(x; t)$$

$$V = V(x; t)$$

El sistema de ecuaciones diferenciales parciales toma la forma:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{g} \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

Tomado de (Allievi, pág. 10)

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + f \frac{V|V|}{2D} = 0$$

Tomado de (Allievi, pág. 10)

Como se sabe este sistema de ecuaciones diferenciales parciales no presenta una solución analítica, por lo tanto, para su resolución se deben adoptar condiciones iniciales y finales basadas en el tiempo y en puntos específicos de la tubería donde las condiciones serán datos conocidos. (Allievi, pág. 10)

Con los valores conocidos de frontera inicial y final las anteriores ecuaciones diferenciales se trasforman en un sistema de dos ecuaciones algebraicas equivalente con dos incógnitas como se muestra a continuación:

$$H_i^{n+1} - H_{i-1}^n + \frac{a}{g} * (V_i^{n+1} - V_{i-1}^n) + \frac{f_{i-1}^n \Delta x}{D} V_{i-1}^n |V_{i-1}^n| = 0$$

$$H_i^{n+1} - H_{i+1}^n - \frac{a}{g} * (V_i^{n+1} - V_{i+1}^n) - \frac{f_{i+1}^n \Delta x}{D} V_{i+1}^n |V_{i+1}^n| = 0$$

Tomado de (Allievi, págs. 10, 11)

Con dichas ecuaciones se puede llegar a calcular el valor de la altura piezométrica H y de la Velocidad V en cualquier punto llámese (i), en cualquier instante (n+1), a partir de las condiciones iniciales definidas para los valores de H y V cualesquiera que sean. La aplicación de este sistema de dos ecuaciones algebraicas es lo que se conoce como el Método de las Características y nos permite resolver el sistema para todos los puntos del tramo de tubería en cuestión con excepción de sus puntos extremos donde obviamente se asume que termina el tramo o que se conecta con algún otro elemento y por ende terminan los elementos diferenciales que la conforman, consecuentemente se observa que según sea el caso faltará una ecuación en los extremos, dicha ecuación faltante puede ser sustituida por una ecuación o familia de ecuaciones que representen el comportamiento que se generara en dicho punto y que llevan el nombre de ecuaciones de contorno (Allievi, pág. 10 a 11).

Mediante la aplicación de este basamento teórico y matemático el programa ALLIEVI finalmente permite llevar a cabo la simulación del fenómeno de golpe de ariete en sistemas a presión; con fines explicativos se plantea a continuación un flujograma que muestra el proceso de modelación que se lleva a cabo con el software, en el cual se detallan los pasos necesarios para llevar a cabo el cálculo de cada uno de los parámetros que permiten ejecutar la simulación de los efectos transitorios en la red de agua potable. (Allievi, pág. 10 a 11).

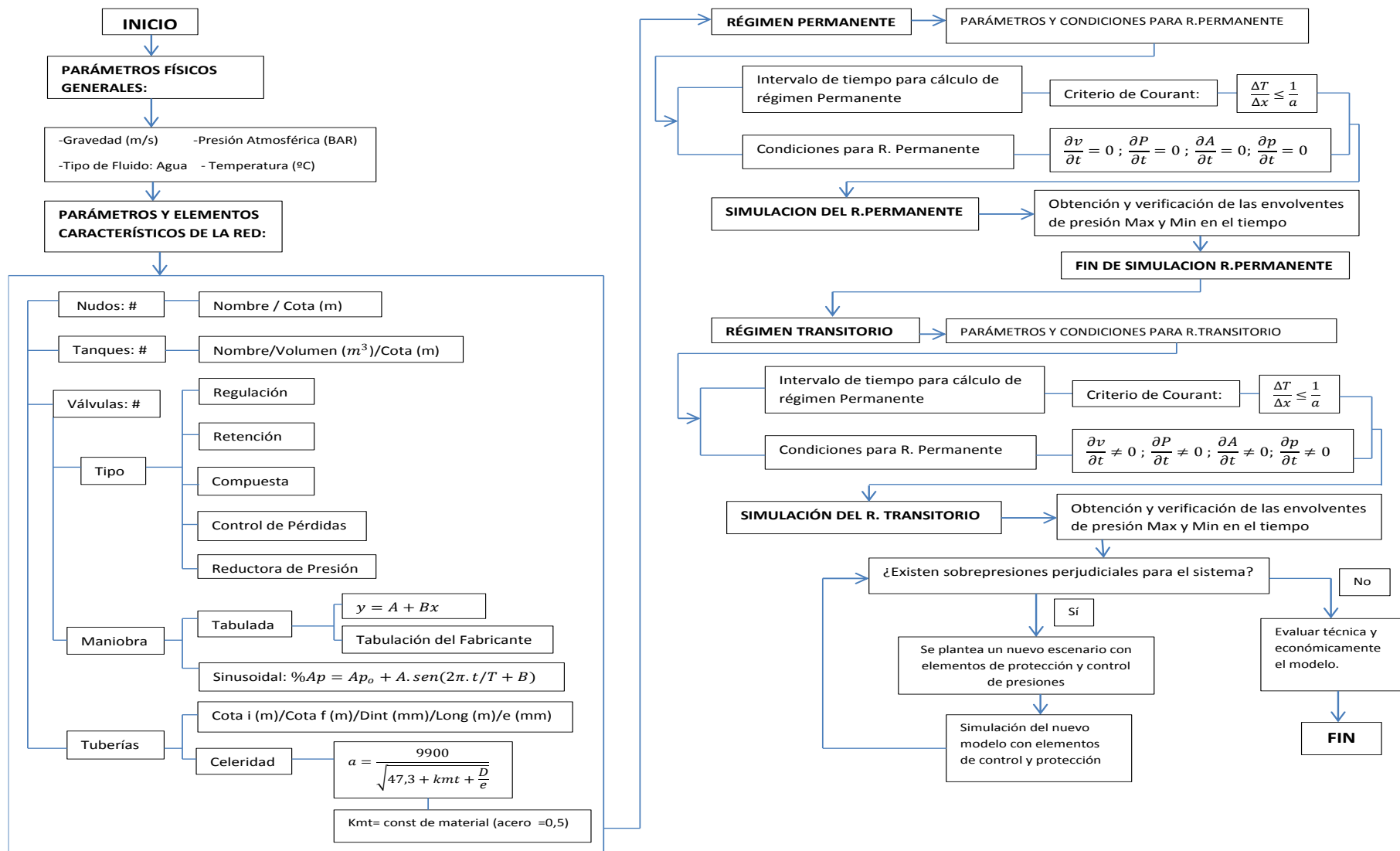


Figura 14: Flujograma de cálculo para el software ALLIEVI

### **3.5 Medidas para atenuar el efecto del golpe de ariete**

Con el propósito de atenuar los efectos negativos que produce el fenómeno del golpe de ariete en sistemas de tuberías a presión, es necesario tomar medidas de control con el fin de preservar la integridad del sistema y brindar la seguridad necesaria para evitar cualquier imprevisto que pueda causar un corte en el servicio de agua potable a la comunidad, por ende, se presenta a continuación las formas más comunes de combatir este fenómeno en sistemas de agua potable:

#### **1.- Chimeneas de equilibrio**

Este elemento de mitigación consiste en una tubería de diámetro relativamente mayor al de la tubería original, que generalmente es colocada de manera vertical y abierta en su extremo, de tal manera que su altura piezométrica siempre representara una presión mayor a la que se encuentra sujeta la tubería principal, este elemento de mitigación permite una correcta disipación de la energía de presión localizada en ciertos puntos donde mediante análisis previos se llega a determinar posibles oscilaciones que podrían poner en peligro la pared de la tubería debido a esfuerzos que podrían sobrepasar los admisibles del material. (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 15)

#### **2.- Válvulas de Alivio Rápido**

Estos dispositivos de alivio de presión permiten la salida instantánea de un determinado volumen de agua del sistema con el propósito de aliviar las presiones internas de tal manera que la presión máxima del sistema se mantenga regulada constantemente (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 16).

#### **3.- Calderines**

Estos elementos de mitigación están constituidos por un cilindro metálico el cual se encuentra sujeto a una presión manométrica en su interior, la cal permite amortiguar de manera instantánea las oscilaciones de presión dentro del sistema debido a que permite una expansión del aire cuando se produce una depresión en el sistema y luego

posteriormente permite una contracción del mismo cuando el efecto se mitiga, generalmente estos sistemas de mitigación son colocados aguas debajo de las válvulas de retención del sistema (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 15).

#### **4.- Válvulas anticipadoras de onda**

Este tipo de válvulas son diseñadas bajo el criterio de parada anticipada de bombas, el cual tiene como objetivo la prevención de una onda de presión que se sabe se generará cuando una bomba de impulsión es detenida, bajo este concepto la válvula de anticipación de presión está en capacidad de producir una apertura en el sistema, de esta forma cuando la onda de presión se genera al momento de regresar al punto de partida es disipada casi en su totalidad, minimizando los efectos de sobrepresión que se podrían generar dentro del sistema de tuberías (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 16).

#### **5.- Válvulas tipo Ventosa**

Este tipo de válvulas permite la expulsión de aire acumulado dentro del sistema, dependiendo de su diseño, si es que estas son mixtas también permitirán la entrada de aire en los casos en que la presión interior sea menor a la presión atmosférica (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 16).

#### **6.- Válvulas de retención**

Estas válvulas se caracterizan principalmente porque solo permiten la circulación del flujo en un determinado sentido, característica por la que también se les conoce en el medio como válvulas anti retorno, su uso como elemento mitigador del golpe de ariete radica en impedir el retorno del fluido debido a posibles efectos de succión en ciertos tramos del sistema razón por la cual al no poder circular el fluido la oscilación de presión se ve prácticamente seccionada en tramos reduciendo de esta manera su efecto total en el sistema (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 16).



## **7.- Válvulas de retención de disco centrado**

Estas válvulas también conocidas como válvulas Williams-Hager son recomendables para la mitigación de los efectos del golpe de ariete en los casos en los que se conoce que el sistema va a trabajar bajo la influencia de presiones de trabajo considerables, son válvulas muy eficientes a la hora de su instalación ya que muchas de estas son fabricadas para admitir una instalación en forma vertical cuando se tiene la necesidad de retener flujos de agua dirigidos en forma vertical (Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, pág. 19).

## **CAPÍTULO IV**

### **4 ANÁLISIS POR GOLPE DE ARIETE DE LA CONDUCCIÓN “TANQUE DE CARGA – TANQUE CHONE”**

#### **4.1 Cálculo del golpe de ariete mediante la aplicación del Software Allievi**

##### **4.1.1 Objetivo del análisis**

El objetivo fundamental de este análisis radica en poder verificar el comportamiento y la respuesta hidráulica del tramo “Tanque de carga- Tanque Chone” ante los efectos del golpe de ariete que se genera de manera inevitable dentro del funcionamiento normal o permanente de un sistema de agua potable, así como por maniobras de operación y mantenimiento de carácter rutinario, tales como el cierre simultaneo de válvulas de control mediante la ejecución de maniobras rápidas, así como también, por el desarrollo de eventos inesperados o imprevistos tales como la rotura de la tubería en ciertos puntos del sistema de agua potable.

A continuación, basándose en los resultados que se lleguen a obtener se plantearán las soluciones y correctivos más adecuados para garantizar el correcto funcionamiento del sistema desde un punto de vista técnico y económico.

##### **4.1.2 Descripción de la conducción modelada**

El tramo de conducción modelado en el software de análisis ALLIEVI constituye la primera de las dos etapas pertenecientes al nuevo sistema regional de agua potable de la provincia de Esmeraldas y sus poblaciones más representativas, la cual posee una longitud de 24.87 kilómetros; Este tramo se encuentra conformado por un tanque de carga y un sistema de tubería y ramales abiertos con diámetros que varían desde los 500 mm hasta los 1500 mm de acuerdo al diseño realizado por ACSAM, a su vez estos alimentan a doce tanques de reserva o almacenamiento los cuales han sido nombrados en concordancia a la zona y población que sirven (ACSAM Consultores, 2015).

### 4.1.3 Análisis propuesto

Para llevar a cabo el análisis del tramo “Tanque de Carga – Tanque Chone” se plantearon tres escenarios influenciados por los efectos del golpe de ariete, partiendo del uso del software ALLIEVI como la herramienta principal de trabajo, estos escenarios son mostrados y explicados a continuación con el fin de determinar cuál de todos representa la condición más adversa a la que el sistema se podría enfrentar a lo largo de su vida útil.

### 4.1.4 Ingreso de datos ALLIEVI V2.2.0.0

Los datos que fueron ingresados en el programa ALLIEVI V2.2.0.0, fueron entregados por la empresa ACSAM, y estos se muestran a continuación.

#### Nudos:

Los nudos han sido denominados con la abreviatura “N#” correspondiendo el símbolo de numeral al número de nudo por su ubicación y secuencia dentro de la red de conducción, es importante observar que a cada nudo dentro de la interfaz le corresponde una cota medida en metros, estos valores fueron proporcionados por ACSAM como se puede observar:

**Tabla 10: Nudos y cotas de la red de conducción**

Nombre	Cota (m)	Nombre	Cota (m)	Nombre	Cota (m)	Nombre	Cota (m)	Nombre	Cota (m)
0	167,04	N3	134,48	N58	13,7	N66b	69,32	N75	90
N0 (1)	185,06	N4a	52	N58a	13,7	N66c	69,32	N76	120,23
N0 (2)	185,06	N4b	52	N58b	13,7	N67	71,1	N77	47
N1	177,21	N5	54,38	N59	10,3	N68	55,5	N78	24,41
N10a	137,42	N52	13,48	N59a	47	N69	13,48	N79	76,78
N10b	45,61	N53	24,41	N59b	47	N6a	15,65	N8	36,77
N11	45,61	N54	146,99	N60	144,44	N6b	26,29	N80	22,88
N12	71,04	N55	146,99	N61	163	N7	26,29	N81	79
N13	71,1	N56	76,78	N61a	176,79	N70	26	N82	120,23
N14	110,28	N57	22,88	N61b	176,79	N71	100,573	N83	10,3
N15	55,5	N57a	22,88	N62	177,21	N72	150,89	N84	47
N16	54,09	N57b	22,88	N63	133	N73	89,71	N85	14,64
N17	71,83	N58	13,7	N64	80,46	N74a	79	N9	135,73
N18	14,64	N58a	13,7	N65	135,73	N74b	79	N91	69,32
N2	102,32	N58b	13,7	N66a	69,32				

Adaptado de (Allievi)

## Tanques de reserva o depósitos

Como parte del modelamiento de la red de conducción de agua potable se realizó el ingreso de los trece tanques de reserva que se encuentran distribuidos a lo largo del tramo analizado, como se puede observar estos tanques fueron nombrados de acuerdo a la zona de servicio con excepción del tanque de carga principal, este tipo de tanques de acuerdo con el software de análisis ALLIEVI encajan en la categoría de tanques de grandes dimensiones o de nivel constante (GD) para su simulación.

Dentro de la interfaz del software los nudos iniciales y finales se auto asignan automáticamente de acuerdo con los nudos introducidos anteriormente en la Tabla 10, seguido se introducen los valores de ( $Z_0$ ) correspondientes a la cota del agua que va a ser utilizada para la simulación del régimen permanente.

**Tabla 11: Ingreso de datos para tanques de reserva y cotas de agua para la simulación**

NOMBRE	TIPO	Z0 (m)
T.Carga	GD	185,6
Winchele	GD	176,79
Guacharaca	GD	162,37
Chone	GD	152,63
S.Rafael(N)	GD	170,13
Betania	GD	151,43
15 de Marzo	GD	155,28
Sta.Cruz	GD	154,46
Aire Libre	GD	146,79
S.Rafael	GD	172,32
Petro Ecuador	GD	158,24
A.Portuaria	GD	118,94
Refineria	GD	161,62

Depósitos - Datos básicos					
Nombre	Ni	Nf	Tipo	S (m <sup>2</sup> )	Z0 (m)
T.Carga	---	0	GD ▾		185,6
Winchele	---	N61	GD ▾		176,79
S.Rafael(N)	---	N63	GD ▾		170,13
S.Rafael	---	N64	GD ▾		172,32
Refinería	---	N70	GD ▾		161,62
15 de Marzo	---	N71	GD ▾		155,28

Adaptado de (Allievi)

## Tuberías:

Los datos ingresados para la modelación del sistema de tuberías fueron introducidos en la siguiente interfaz del Software:

**Tabla 12: Interfaz de entrada para tuberías**

Tuberías - Datos básicos											Pérdidas	
Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Perfil		Rug (mm)	k
L2	N1	177,21	N2	102,32	1500	240	10,31	1095,3384	Calc	----	0,1	1
L3	N2	102,32	N3	134,48	1500	1180	10,31	1095,3384	Calc	----	0,1	1
L5	N4b	52	N5	54,38	1500	177	10,31	1095,3384	Calc	----	0,1	1
L8	N7	26,29	N8	36,77	1500	680	10,31	1095,3384	Calc	----	0,1	1

Adaptado de (Allievi)

Como se puede observar deben ser colocados ciertos valores que corresponden a los siguientes campos:

**Nombre:** Corresponde al nombre con el que se ha asignado un tramo de tubería que conforma el sistema en general, en este caso se nombró los tramos con la letra inicial “L” que corresponde a línea de conducción y un número adjunto que hace referencia al orden de trazado de cada conducción y ramal del modelo hidráulico.

**Ni y Nf:** Son campos requeridos por el programa para referenciar cual es el nudo inicial y final de cada tramo de tubería.

**Zi y Zf:** Representan las cotas en las que se encuentran ubicados los nudos inicial y final de un tramo de tubería.

**Dint:** Corresponde al diámetro interior de la tubería.

**L (m):** Es igual a la longitud total de la tubería medida desde su nudo inicial hasta su nudo final.

**Espesor (e):** Corresponde al espesor de la pared de la tubería el cual se utiliza adicionalmente para calcular los valores de celeridad de manera automática.

**Celeridad (a):** Es la celeridad que posee la onda de presión que se desplaza a lo largo del tramo de tubería, este dato es asignado de manera automática por el Software a partir del espesor y del coeficiente de material de cada tramo de tubería que se ingrese, sin embargo el programa también permite la asignación de este valor si es que se lo ha calculado previamente, en el caso de nuestro análisis se utilizó el valor calculado por el programa ya

que dentro de los datos entregados por la empresa ACSAM no se contaba con un cálculo de celeridades previo.

De manera general el programa realiza el cálculo del valor de la celeridad mediante la aplicación de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{9900}{\sqrt{47,3 + kmt * \frac{D}{e}}}$$

Dónde:

***a*** = Valor de la celeridad de la onda de presión (m/s)

***D*** = Diámetro de la tubería (m) (obtenido del diseño entregado por la empresa ACSAM)

***e*** = Espesor de la tubería (mm) (obtenido del diseño entregado por la empresa ACSAM)

***kmt*** = Coeficiente del material de la tubería (obtenido del cuadro de materiales propio del Software ALLIEVI) (Allievi).

**Cálculo de la celeridad de la tubería seleccionada**

Permite asignar un valor a la celeridad o calcularlo mediante la introducción de tres parámetros

☒ Calcular celeridad

Diámetro (mm)	1,500,00000
Espesor (mm)	10,31000
Coef. material	0,00
Celeridad (m/s)	0,0000

**Coeficientes de material de tubería**

Coeficiente .....	CMT = 1.0E+6/ModElastTub(Kp/cm2)
Acero:.....	0.5 MET = (2.0 - 2.12)E+6 Kp/cm2
Fundición:.....	0.6 - 1.3 MET = (0.80 - 1.70)E+6 Kp/cm2
Hormigón:.....	3.3 - 7.1 MET = (0.14 - 0.30)E+6 Kp/cm2
H. arm. camisa chapa:..	2.5 MET = 0.39E+6 Kp/cm2
PVC Rígido:.....	36 - 42 MET = (2.40 - 2.75)E+4 Kp/cm2

Guardar Cancelar

**Figura 15: Cálculo del valor de celeridad en el programa ALLIEVI V 2.2.0.0**

Adaptado de (Allievi)

### Interfaz de pérdidas:

Dentro de la interfaz de ingreso de datos el programa contiene una interfaz de pérdidas la cual le permite considerar dentro de sus cálculos las pérdidas menores en las tuberías y adicionalmente considerar el factor de rugosidad absoluta de la misma.

**Tabla 13: Interfaz de pérdidas ALLIEVI**

Pérdidas	
Rug (mm)	k
0,1	1
0,1	1
0,1	1
0,1	1
0,1	1
0,1	1
0,1	1

Adaptado de (Allievi)

Rug (mm): Corresponde a la rugosidad absoluta medida en milímetros de la tubería, para motivos del análisis se adoptó el valor correspondiente a 0,1 que se obtuvo de la tabla de valores para rugosidad absoluta correspondiente al material acero para tuberías nuevas que se muestra a continuación:

**Tabla 14: Rugosidad absoluta para varios materiales**

<b>Valores de Rugosidad Absoluta</b>	
<b>Material de construcción</b>	<b>Rugosidad (k: mm)</b>
<u>Tuberías de plástico</u> Poliétileno (P.E.)..... Cloruro de polivinilo (PVC) .....	0,002 0,02
<u>Tuberías metálicas</u> Tuberías estiradas, sin soldaduras de latón, cobre, plomo..... Aluminio.....	0,0015 - 0,01 0,015 - 0,06
<u>Tuberías de Acero</u> Nuevas..... Después de muchos años en servicio.....	0,02 - 0,10 1,2 - 1,5
<u>Acero galvanizado:</u> Nuevas, buena galvanización..... Galvanización ordinaria.....	0,07 - 0,10 0,10 - 0,15
<u>Fundición:</u> Nuevas..... Nuevas con revestimiento bituminoso..... Asfaltadas..... Después de varios años en servicio.....	0,25 - 1,00 0,10 - 0,15 0,12 - 0,30 1,00 - 4,00
<u>Hormigón y fibrocemento:</u> - <u>Hormigón:</u> Superficie muy lisa..... Condiciones medias..... Superficie rugosa..... Hormigón armado..... - <u>Fibrocemento (F.C.):</u> Nuevas..... Después de varios años en uso.....	0,3 - 0,8 2,5 3 - 9 2,5 0,05 - 0,10 0,60

Tomada de (Lorencholl, 2010, pág. 14)

K: Es el coeficiente adimensional de pérdidas menores global de la tubería, para el objeto del análisis se adoptó un coeficiente de pérdidas menores igual a 1.0 ya que ese es el valor recomendado en la memoria de cálculo entregada por la empresa ACSAM en el diseño hidráulico en página 114 (ACSAM Consultores, pág. 114).

Luego de introducidos todos los datos requeridos la tabla de interfaz de tuberías queda como se muestra a continuación.



**Tabla 15: Datos de entrada para Tuberías**

Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Rug (mm)	k
L10	N9	135,73	N10a	137,42	1200	28	10,31	1071,6906	0,1	1
L11a	N10a	137,42	N10b	45,61	1200	580	10,31	1071,6906	0,1	1
L11b	N10b	45,61	N11	45,61	1200	20	10,31	1071,6906	0,1	1
L12	N11	45,61	N12	71,04	1200	337	10,31	1071,6906	0,1	1
L13	N12	71,04	N13	71,1	1200	3	10,31	1071,6906	0,1	1
L14	N13	71,1	N14	110,28	1200	160	10,31	1071,6906	0,1	1
L15	N14	110,28	N15	55,5	1200	409	10,31	1071,6906	0,1	1
L16	N15	55,5	N16	54,09	1200	51	10,31	1071,6906	0,1	1
L17	N16	54,09	N17	71,83	1200	160	10,31	1071,6906	0,1	1
L17a	N17	71,83	N85	14,64	1200	244	10,31	1071,6906	0,1	1
L17b	N85	14,64	N18	14,64	1200	244	10,31	1071,6906	0,1	1
L1a (1)	0	167,04	N0 (1)	185,06	1500	18,57	10,31	1095,3384	0,1	1
L1a (2)	N0 (1)	185,06	N0 (2)	185,06	1500	3,03	10,31	1095,3384	0,1	1
L1a (3)	N0 (2)	185,06	N62	177,21	1500	8,4	10,31	1095,3384	0,1	1
L1b	N62	177,21	N1	177,21	1500	30	10,31	1095,3384	0,1	1
L2	N1	177,21	N2	102,32	1500	240	10,31	1095,3384	0,1	1
L3	N2	102,32	N3	134,48	1500	1180	10,31	1095,3384	0,1	1
L4a	N3	134,48	N4a	52	1500	1151	10,31	1095,3384	0,1	1
L4b	N4a	52	N4b	52	1500	20	10,31	1095,3384	0,1	1
L5	N4b	52	N5	54,38	1500	177	10,31	1095,3384	0,1	1
L52	N18	14,64	N52	13,48	1200	828	10,31	1071,6906	0,1	1
L53	N52	13,48	N53	24,41	1200	1890	10,31	1071,6906	0,1	1
L54	N53	24,41	N54	146,99	1200	1761	10,31	1071,6906	0,1	1
L55	N54	146,99	N55	146,99	800	301	7,14	1064,8551	0,1	1
L56	N55	146,99	N56	76,78	800	312	7,14	1064,8551	0,1	1
L57	N56	76,78	N57	22,88	800	924	7,14	1064,8551	0,1	1
L58a	N57	22,88	N57a	22,88	800	773	7,14	1064,8551	0,1	1
L58b	N57a	22,88	N57b	22,88	800	720	7,14	1064,8551	0,1	1
L58c	N57b	22,88	N58	13,7	800	650	7,14	1064,8551	0,1	1
L59a	N58	13,7	N58a	13,7	600	400	6,35	1112,5777	0,1	1
L59b	N58a	13,7	N58b	13,7	600	400	6,35	1112,5777	0,1	1
L59c	N58b	13,7	N59	10,3	600	395	6,35	1112,5777	0,1	1
L6	N5	54,38	N6a	15,65	1500	672	10,31	1095,3384	0,1	1
L60a	N60	144,44	N83	10,3	500	412	6,35	1151,507	0,1	1
L60b	N83	10,3	N59	10,3	500	412	6,35	1151,507	0,1	1

Adaptado de (Allievi)

**Tabla 16: Datos de entrada para Tuberías**

Nombre	Ni	Zi (m)	Nf	Zf (m)	Dint (mm)	L (m)	e (mm)	a (m/s)	Rug (mm)	k
L61a (1)	N61	163	N61a	176,79	500	53	6,35	1194,8313	0,1	1
L61a (2)	N61a	176,79	N61b	176,79	500	50	6,35	1194,8313	0,1	1
L61a (3)	N61b	176,79	N65	135,73	500	45	6,35	1194,8313	0,1	1
L61b	N65	135,73	N9	135,73	500	148	6,35	1194,8313	0,1	1
L62a	N91	69,32	N66a	69,32	500	482	6,35	1277,0208	0,1	1
L62b	N66a	69,32	N66b	69,32	500	180	6,35	1277,0208	0,1	1
L62c	N66b	69,32	N66c	69,32	500	170	6,35	1277,0208	0,1	1
L62d	N66c	69,32	N12	71,04	500	132	6,35	1277,0208	0,1	1
L63a	N63	133	N67	71,1	500	321	6,35	1194,8313	0,1	1
L63b	N67	71,1	N13	71,1	500	321	6,35	1194,8313	0,1	1
L64a	N64	80,46	N68	55,5	500	211,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L64b	N68	55,5	N15	55,5	500	211,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L70a	N70	26	N69	13,48	500	297,5	6,35	1320,6605	0,1	1
L70b	N69	13,48	N52	13,48	500	297,5	6,35	1320,6605	0,1	1
L71a	N71	100,573	N78	24,41	500	582,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L71b	N78	24,41	N53	24,41	500	582,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L72a	N72	150,89	N79	76,78	500	129	6,35	1194,8313	0,1	1
L72b	N79	76,78	N56	76,78	500	129	6,35	1194,8313	0,1	1
L73a	N73	89,71	N80	22,88	500	459	6,35	1194,8313	0,1	1
L73b	N80	22,88	N57	22,88	500	459	6,35	1194,8313	0,1	1
L74 (1)	N74	79	N74a	79	500	124	6,35	1194,8313	0,1	1
L74 (2)	N74a	79	N74b	79	500	124	6,35	1194,8313	0,1	1
L74 (3)	N74b	79	N58	13,7	500	124	6,35	1194,8313	0,1	1
L75a	N75	90	N81	79	500	12	6,35	1194,8313	0,1	1
L75b	N81	79	N74	79	500	8,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L76a	N76	120,23	N82	120,23	500	535,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L76b	N82	120,23	N74	79	500	535,5	6,35	1194,8313	0,1	1
L77a	N77	47	N84	47	600	481,5	6,35	1208,2946	0,1	1
L77b (1)	N59b	47	N84	47	600	160,5	6,35	1208,2946	0,1	1
L77b (2)	N59a	47	N59b	47	600	160,5	6,35	1208,2946	0,1	1
L77b (3)	N59	10,3	N59a	47	600	160,5	6,35	1208,2946	0,1	1
L7a	N6a	15,65	N6b	26,29	1500	100	10,31	1095,3384	0,1	1
L7b	N6b	26,29	N7	26,29	1500	20	10,31	1095,3384	0,1	1
L8	N7	26,29	N8	36,77	1500	680	10,31	1095,3384	0,1	1
L9	N8	36,77	N9	135,73	1500	472	10,31	1095,3384	0,1	1

Adaptado de (Allievi)

## Válvulas:

La modelación se realizó tomando en consideración las 19 válvulas que se encuentran ubicadas a lo largo del sistema, de las cuales nueve son de regulación tipo mariposa y diez corresponden a válvulas compuestas las cuales incluyen sistemas de retención y de control de pérdida, los datos correspondientes a cada tipo de válvula se presentan a continuación.

## Válvulas de regulación:

Los datos requeridos para las válvulas de regulación del sistema fueron introducidos en la siguiente interfaz:

**Tabla 17: Interfaz de entrada para válvulas de regulación**

Válvula Regulación - Datos básicos								Maniobra	Tabulada
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k	Tipo	Modelo	Tipo	Tabla
Va1	N62	N1	177,21	1200	1	Mariposa	-	Tabulada	-
Va2	N65	N9	135,73	1200	1	Mariposa	-	Tabulada	-
Va4	N91	N66a	69,32	1200	1	Mariposa	-	Tabulada	-
Va5	N68	N15	55,5	1200	1	Mariposa	-	Tabulada	-

Adaptado de (Allievi)

Como se puede observar los datos característicos para la simulación de estos elementos son:

**Z (m):** Cota que corresponde a la posición de la válvula respecto a la tubería de conexión en sus nudos inicial y final.

**DN (mm):** Es el diámetro nominal de la válvula medido en milímetros.

Los datos correspondientes a la posición y diámetros de cada válvula fueron tomados de la información entregada por parte de la empresa ACSAM y fueron implantados en el modelo de ALLIEVI a partir del archivo de cálculo EPANET también entregado por la empresa.

**K:** Corresponde al coeficiente adimensional de pérdidas menores por tipo de válvula, valor que se obtuvo de la siguiente tabla:

**Tabla 18: Coeficientes de pérdidas menores para válvulas**

Válvulas	Coef. de pérdida, K
De bola	$K = 0,1$
Compuerta	$K = 0,1 - 0,3$
Anti-retomo	$K = 1,0$
De asiento estándar. Asiento de fundición	$K = 4,0 - 10,0$
De asiento estándar. Asiento de forja (pequeña)	$K = 5,0 - 13,0$
De asiento a 45°. Asiento de fundición	$K = 1,0 - 3,0$
De asiento en ángulo. Asiento de fundición	$K = 2,0 - 5,0$
De asiento en ángulo. Asiento de forja (pequeña)	$K = 1,5 - 3,0$
Mariposa	$K = 1,0$
Diafragma	$K = 2,0 - 3,5$
De macho o tapón. Rectangular	$K = 0,3 - 0,5$
De macho o tapón. Circular	$K = 0,2 - 0,3$
Otros elementos	Coef. de pérdida, K
Codos a 90°	$K = 0,2$
Derivación	$K = 0,3$

Tomada de (Bautista Castillo, 2015, pág. 39)

Como se observa el valor adoptado según la tabla presentada corresponde a una pérdida de carga por accesorio de válvula tipo mariposa  $K=1$ .

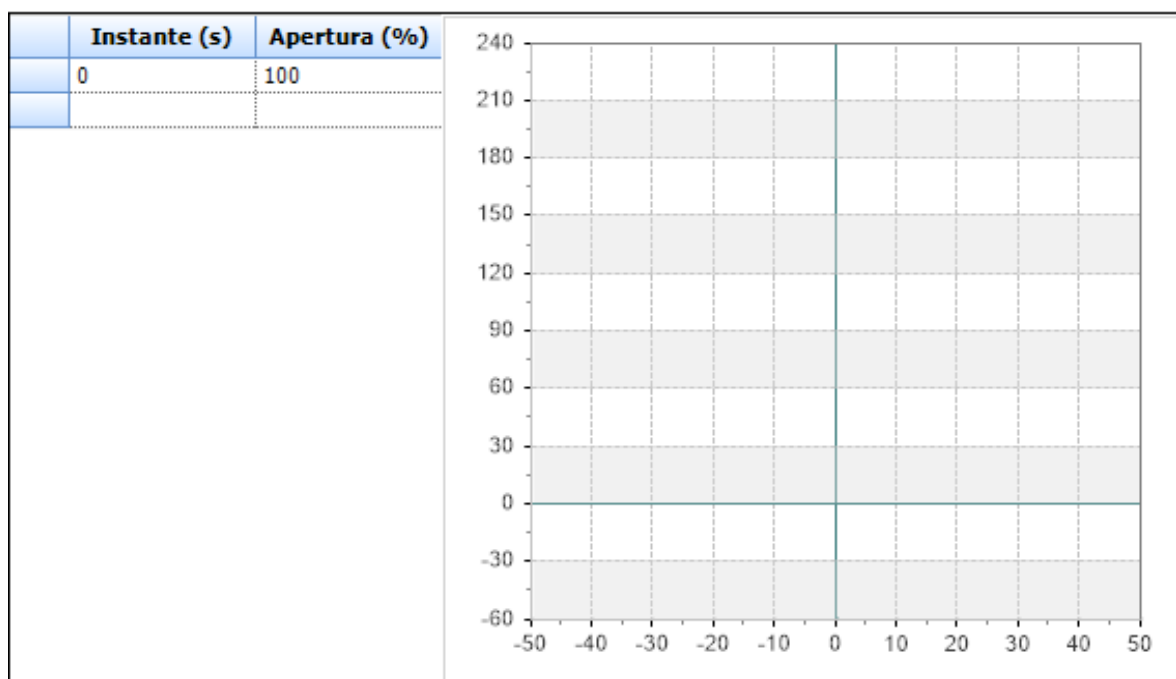
**Tiempo de Cierre o de Maniobra ( $t_m$ ):** Se define como tiempo de cierre al tiempo medido en segundos que se ocupa para realizar una maniobra de apertura o cierre en una válvula. Como se ha definido anteriormente dentro del marco teórico, la comparación entre el tiempo de maniobra y el tiempo critico " $t_c = \frac{2L}{a}$ ", el cual representa el tiempo en segundos que se demora en recorrer un ciclo completo una onda de presión por toda la tubería, es decir ida y vuelta nos permite establecer la diferencia entre una maniobra de cierre lento o de cierre rápido, donde sí: (Monge Redondo, 2017)

$$t_m < t_c \text{ (cierre rápido)}$$

$$t_m \geq t_c \text{ (cierre lento)}$$

Esta opción se encuentra dentro de la interfaz de datos de entrada para válvulas, con esta opción el usuario puede introducir una maniobra que se quiera simular, por ende para nuestro análisis y en los próximos escenarios que se presentaran a continuación, las maniobras adoptadas corresponderán a cierres rápidos los cuales nos permitirán analizar las solicitaciones más extremas a las que podría verse sometido el sistema de agua potable.

De manera introductoria la forma de introducir una maniobra de apertura o cierre de una válvula sea de cualquier tipo, queda limitada a un porcentaje de apertura o cierre como se muestra en la Figura 15:



**Figura 16: Interfaz de maniobra para válvulas**

Adaptado de (Allievi)

Los datos reales de maniobra serán presentados y explicados más adelante respectivamente para cada escenario analizado.

### Válvulas compuestas

Las válvulas compuestas implantadas en el modelo hidráulico se encuentran conformadas por un sistema básico de retención y un sistema de válvulas de control para pérdida de

carga, para este tipo de válvulas los datos necesarios para su simulación fueron introducidos en la siguiente interfaz de entrada:

**Tabla 19: Interfaz de válvulas compuestas**

Válvula compuesta - Datos básicos				Válvulas	
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Retención	Pérdida
VC1	N0 (1)	N0 (2)	185,06	1	1
VC2	N4a	N4b	52	1	1
VC3	N6b	N7	26,29	1	1
VC5	N10b	N11	45,61	1	1
VC8	N74a	N74b	79	1	1
VC6	N66b	N66c	69,32	1	1
VC4	N61a	N61b	176,79	1	1
VC9	N58a	N58b	13,7	1	1

Adaptado de (Allievi)

Los elementos que definen este tipo de accesorios son:

**Z (m):** corresponde a la cota a la que se sitúa la válvula, esta cota define los nudos extremos del tramo de tubería al que se encuentra conectada.

### Interfaz de válvulas

La interfaz de válvulas define el tipo y número de válvulas que conforman el sistema de válvulas compuestas, como se puede observar en la imagen que se presenta el sistema cuenta con una válvula de retención y una de control de carga para cada sistema de válvulas compuestas que se encuentren a lo largo del sistema de agua potable.

**Tabla 20: Interfaz secundaria de válvulas compuestas**

Válvulas	
Retención	Pérdida
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1
1	1

Adaptado de (Allievi)

Luego de introducidos los datos de manera correcta para cada tipo de válvula que conforma el sistema de agua potable se presentan las tablas generales para válvulas y accesorios.

**Tabla 21: Datos básicos para válvulas de regulación**

VALVULAS DE REGULACION- DATOS BASICOS							
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	DN (mm)	k	Tipo	Tipo de Maniobra
Va1	N62	N1	177,21	1200	1	Mariposa	Tabulada
Va2	N65	N9	135,73	1200	1	Mariposa	Tabulada
Va4	N91	N66a	69,32	1200	1	Mariposa	Tabulada
Va5	N68	N15	55,5	1200	1	Mariposa	Tabulada
Va8	N78	N53	24,41	1200	1	Mariposa	Tabulada
Va9	N80	N57	22,88	800	1	Mariposa	Tabulada
Va10	N81	N74	79	800	1	Mariposa	Tabulada
Va13	N77	N84	47	800	1	Mariposa	Tabulada
Va7	N69	N52	13,48	1200	1	Mariposa	Tabulada

Adaptado de (Allievi)

**Tabla 22: Datos básicos para válvulas compuestas**

VALVULAS COMPUESTAS - DATOS BASICOS					
Nombre	Ni	Nf	Z (m)	Retención	Pérdida
VC1	N0 (1)	N0 (2)	185,06	1	1
VC2	N4a	N4b	52	1	1
VC3	N6b	N7	26,29	1	1
VC5	N10b	N11	45,61	1	1
VC8	N74a	N74b	79	1	1
VC6	N66b	N66c	69,32	1	1
VC4	N61a	N61b	176,79	1	1
VC9	N58a	N58b	13,7	1	1
VC10	N59a	N59b	47	1	1
VC7	N85	N18	14,64	1	1

Adaptado de (Allievi)

Luego de concluido el trazo del sistema y el ingreso de todos los datos necesarios para la estructuración del modelo hidráulico del tramo “Tanque de carga-T.Chone”, el software Allievi permite la visualización del modelo completo como se muestra a continuación:



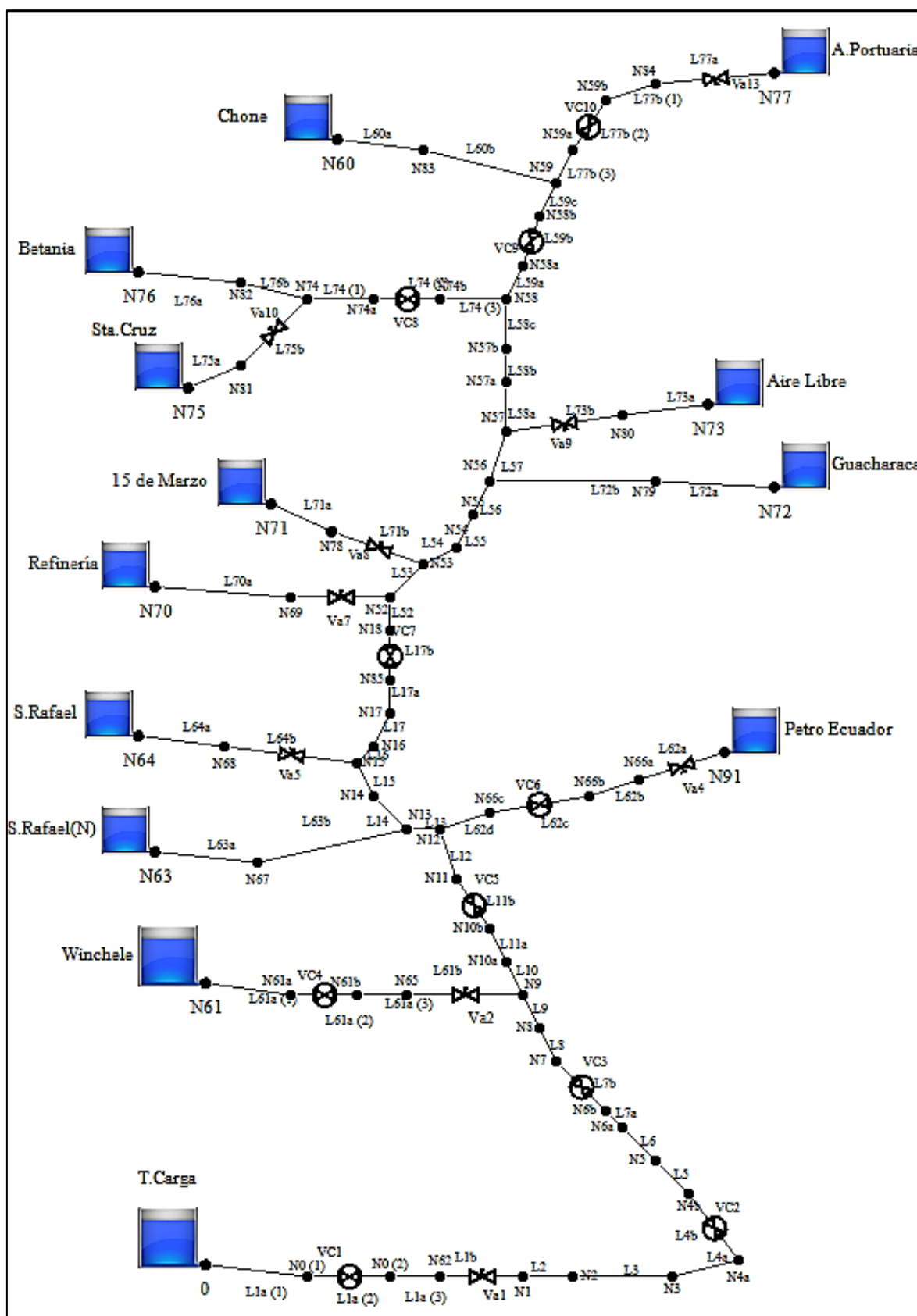


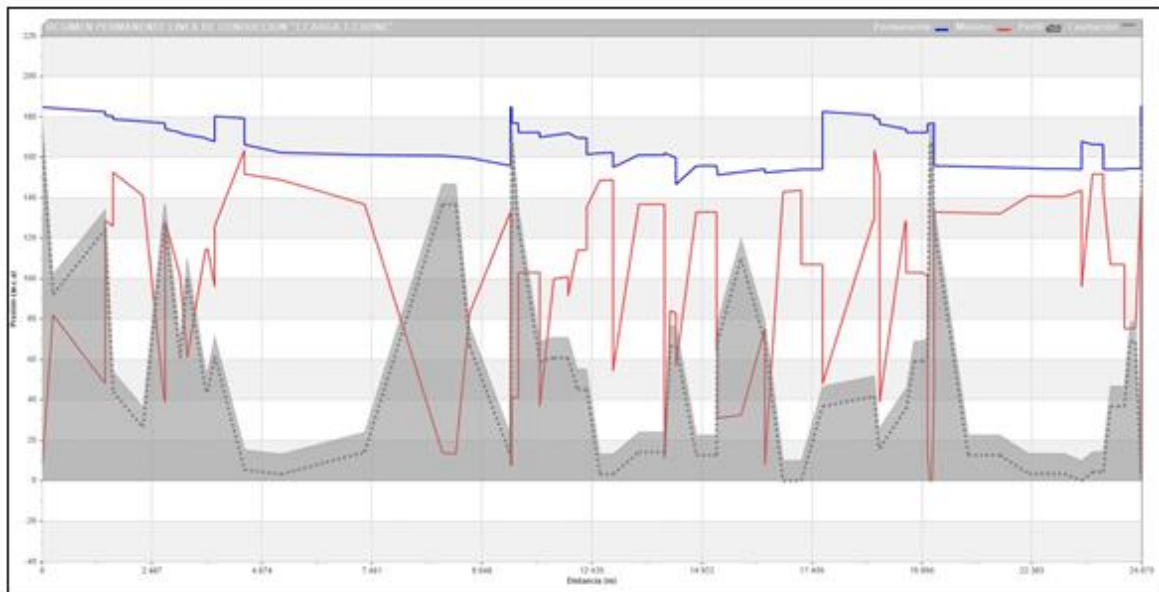
Figura 17: Modelo Hidráulico “Tanque de Carga-T.Chone” en ALLIEVI

## 4.2 Escenario 1: Régimen permanente

El régimen permanente constituye el escenario base sobre el cual un sistema hidráulico puede ser evaluado bajo los efectos del golpe de ariete ya que este representa las condiciones normales o mínimas a las que funcionara la conducción a lo largo de su vida útil y es sobre este escenario que se realizaran las alteraciones necesarias para la generación del golpe de ariete en diferentes solicitaciones.

Para la simulación del régimen permanente se utilizaron los datos de entrada definidos anteriormente, y es importante aclarar que en el régimen permanente no se pueden incluir maniobras de cierre ni de apertura especiales como escenarios de partida, ya que el software trabaja al régimen permanente como un escenario base y asume un correcto funcionamiento y ejecución de sus componentes y maniobras a lo largo del tiempo.

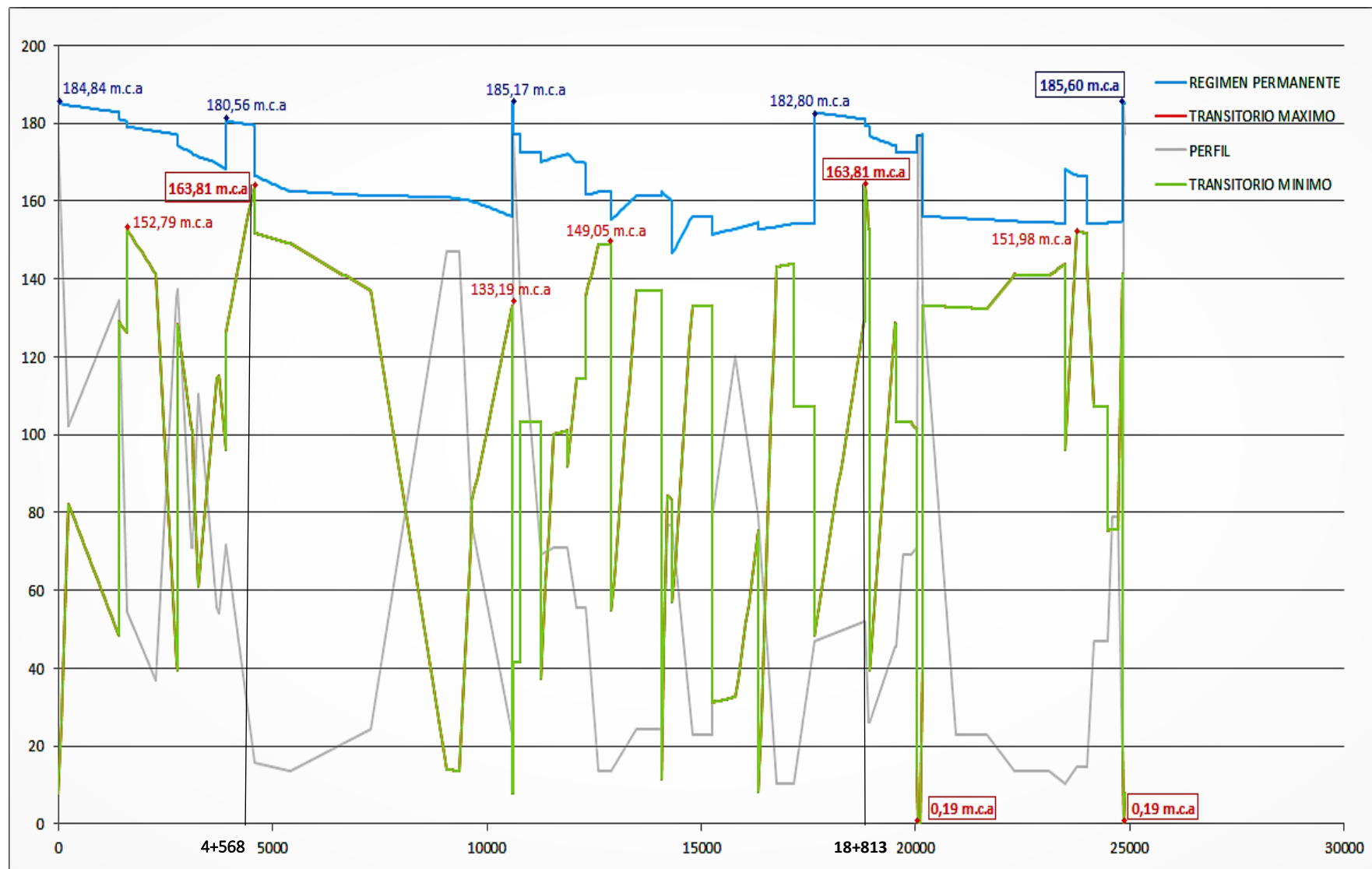
Con los datos de entrada definidos anteriormente, se procedió a realizar la corrida del modelo para régimen permanente y se obtiene la gráfica de envolventes de presión en donde se compara la envolvente piezométrica y la envolvente de presión transitoria o envolvente de presión por golpe de ariete.



**Figura 18: Envolvente de presiones para Régimen Permanente de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**

Como se puede observar brevemente en la Figura 17 generada para el régimen permanente la envolvente de presión piezométrica del sistema (línea de color azul) se encuentra ubicada sobre la envolvente de presión por golpe de ariete (línea de color rojo), lo cual indica claramente que la tubería bajo condiciones de flujo permanente será capaz de resistir las variaciones de presión que se presenten solo con sus características mecánicas, definidas dentro del cálculo y diseño de la red.

Con el fin de obtener los valores máximos y mínimos de presión correspondientes a ambas envolventes y poder realizar un análisis de carácter profundo, se exportaron los datos y resultados obtenidos en el software a una hoja de cálculo Excel que permitió obtener los puntos máximos y mínimos más representativos de las envolventes en régimen permanente como se muestra a continuación.



**Figura 19: Envolventes de presión para Régimen Permanente de la línea de conducción "T.Carga-T.Chone"**

Como se ha comentado, en la Figura 18 se aprecia que en ningún tramo de la conducción el golpe de ariete con un valor máximo de 163,81 m.c.a ubicado en las abscisas 4+568 y 18+813 metros ha logrado igualar o cortar la línea de presiones piezométrica que posee una presión máxima de 185,60 m.c.a en la abscisa 24+843 metros, con lo cual se demuestra que la línea de conducción estará fuera de peligro o de futuros problemas dentro del marco del régimen permanente, sin embargo para poder mantener estas condiciones es necesario que a lo largo de la vida útil del sistema se realicen las maniobras rutinarias de control y mantenimiento en forma correcta y se procure no alterar de manera brusca el estado de equilibrio del sistema, respetando las leyes de apertura y cierre con las que son diseñados los dispositivos de control de caudal presentes en el modelo tales como las válvulas de regulación, ya sean compuestas o de retención.

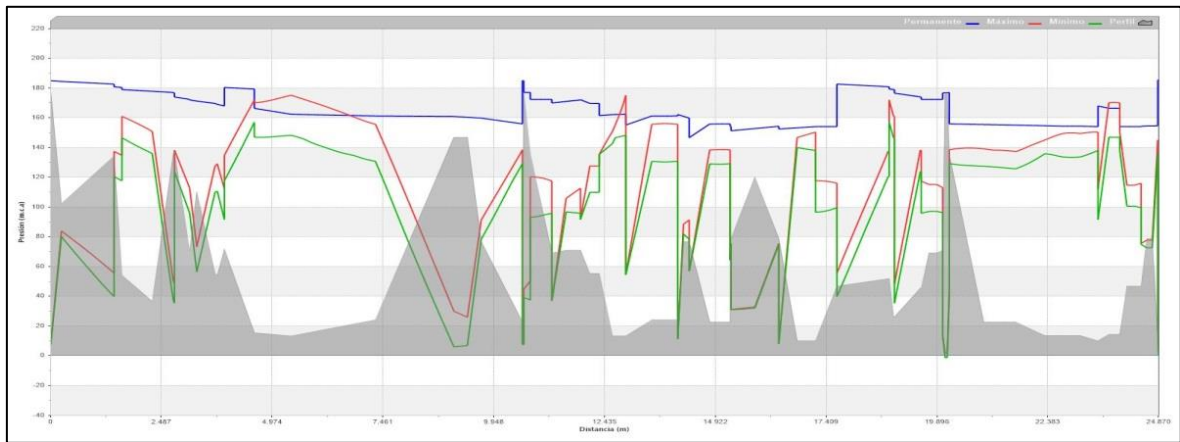
#### **4.2.1 Escenario 2: Cierre rápido y simultáneo en cinco tanques**

Para la simulación de este escenario se ha propuesto el cierre rápido y simultáneo de cinco válvulas de regulación que alimentan los tanques correspondientes a las poblaciones de: Winchele, Petro-Ecuador, Refinería, Sta. Cruz, y finalmente Autoridad Portuaria.

El escenario en cuestión ha sido dividido en diez sub escenarios que van desde los 25 segundos para el tiempo de cierre de las válvulas hasta los 300 segundos, esto con el fin de poder apreciar y definir las condiciones más críticas a las cuales podría estar sometido el sistema bajo la acción de maniobras de cierre rápidas, que se saben producirán los mayores efectos de golpe de ariete, para esto se procedió a utilizar los tiempos de maniobra de las válvulas de regulación presentados por la marca “Vamex” con el fin de realizar una modelación lo más precisa posible a lo que se podría dar en la realidad.

Como se ha indicado anteriormente de los diez sub escenarios que fueron modelados serán explicados los dos escenarios más críticos correspondientes a los tiempos de cerrado de 25 y 30 segundos cuyos resultados evidenciaron posibles problemas de golpe de ariete debido a que estos se encuentran influenciados por los tiempos de cierre más cortos, los demás serán adjuntos dentro de la categoría de anexos ya que de antemano cabe explicar que estos no presentaron problemas que ameriten su análisis ya que con el incremento del tiempo de cerrado de las válvulas a partir de los 35 segundos se pudo apreciar que estos empiezan a

disminuir sus efectos hasta alcanzar un equilibrio equiparable con el del régimen permanente.



**Figura 20: Reducción de las envolventes de presión para Régimen Transitorio a partir de un tiempo de cierre de 35 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**

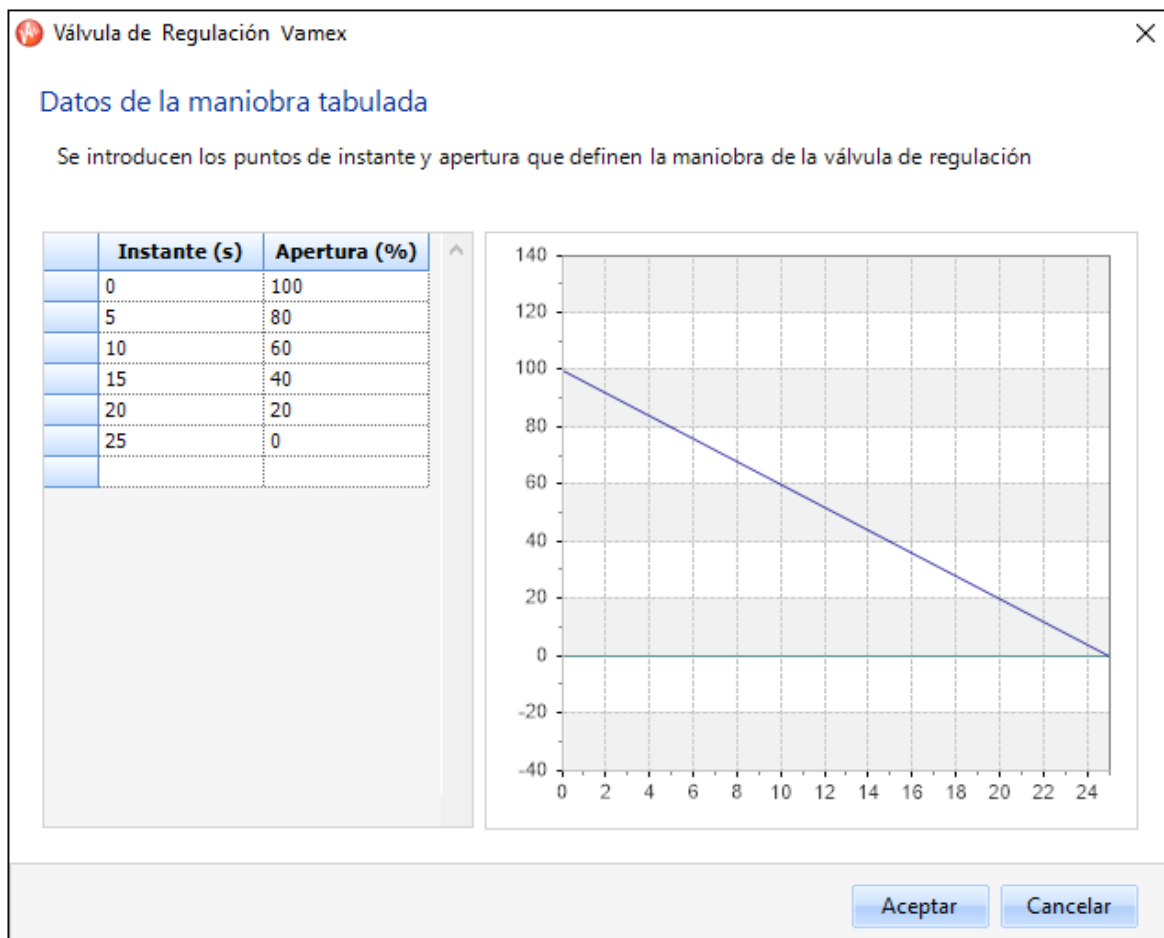
#### **4.2.2 Escenario 2.1: Cierre simultáneo de cinco tanques en un tiempo de 25 segundos**

Para la simulación de este escenario se adoptó un tiempo de cierre para las válvulas de regulación de 25 segundos, este tiempo fue obtenido a partir del catálogo de válvulas de control y regulación Vamex que se encuentran formando parte del sistema de agua potable, el software ALLIEVI permitió el ingreso de los tiempos de cierre en función del porcentaje de apertura de la válvula durante la ejecución de la maniobra, como se puede observar en la Figura 21 los valores para cada porcentaje de apertura fueron calculados mediante una interpolación lineal para:  $y = A + Bx$ , como se indica en el catálogo de válvulas Vamex es posible hacer uso de esta fórmula para encontrar los porcentajes de apertura a tiempos intermedios siempre y cuando la maniobra sea de carácter lineal debido al uso de dispositivos de reducción de trabajo como por ejemplo desmultiplicadores, en la Figura 20 se pueden observar dos de las válvulas Vamex utilizadas en la red de agua potable de Esmeraldas acopladas a un sistema desmultiplicador el cual asegura una maniobra de cierre lineal.



**Figura 21: Sistema desmultiplicador para válvulas de regulación de la red de agua potable para Esmeraldas y su zona de influencia**

Luego de establecida la maniobra como una de carácter lineal y que la misma será ejecutada en un periodo de tiempo no mayor a 25 segundos se llevó a cabo el cálculo del porcentaje de apertura para cada uno de los tiempos intermedios como se muestra en la interfaz de entrada para maniobra del software.

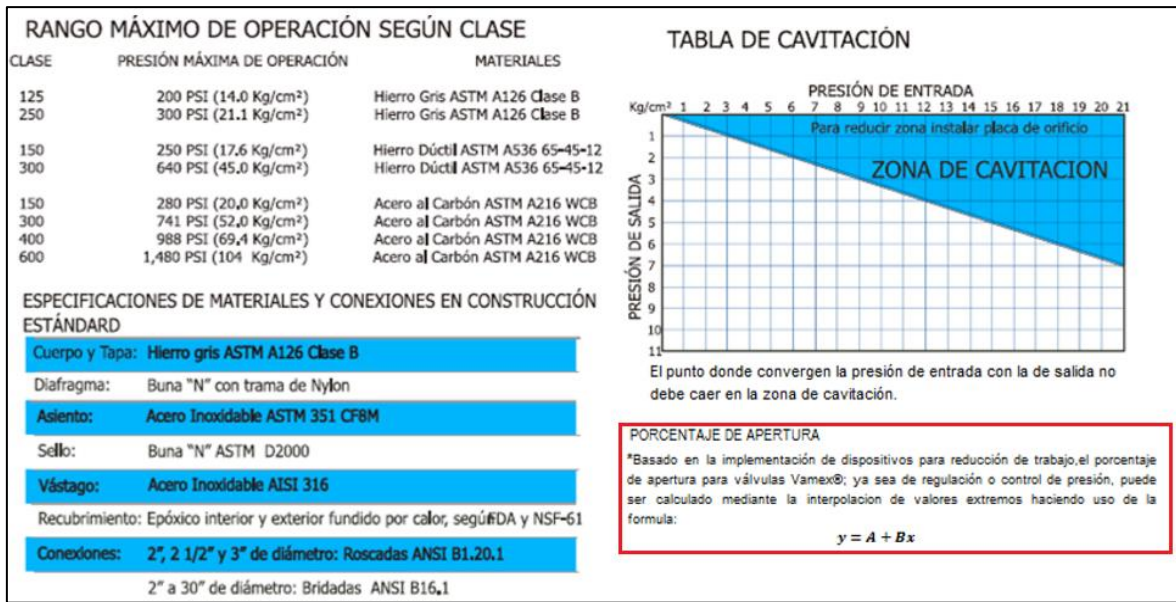


**Figura 22: Tiempos de cierre y porcentajes de apertura para una maniobra rápida de 25 segundos.**

Se observa que la maniobra tabulada dentro de la interfaz representa una línea recta a la cual se le ha asignado un porcentaje de apertura para cada intervalo de tiempo de cinco segundos hasta completar el tiempo total mediante una interpolación lineal por el uso de desmultiplicadores tal como se indica a continuación.

Como se observa dentro del catálogo de válvulas de regulación y control Vamex se hace referencia al cálculo del porcentaje de apertura, el cual según se indica se encuentra definido por una interpolación lineal donde se asumen los valores extremos de la maniobra ya que estos al final son valores conocidos debido a que al inicio de la simulación el programa reconoce un porcentaje de apertura del cien por ciento para las válvulas en funcionamiento, y cuyo porcentaje de apertura se verá reducido conforme se haya tabulado la maniobra hasta alcanzar un valor límite del cero por ciento de apertura.



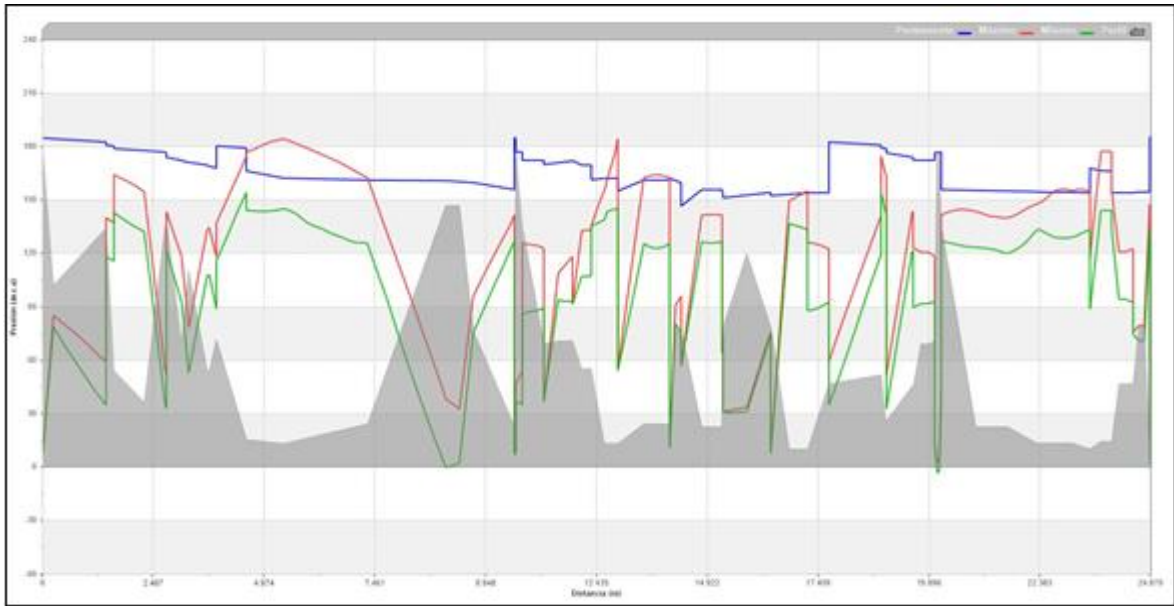


**Figura 23: Porcentaje de apertura para válvulas Vamex**

Fuente: (Vamex, 2017-2018, pág. 3)

Con el fin de comparar más adelante todos los escenarios generados y obtener conclusiones que permitan definir el comportamiento del sistema ante los efectos del golpe de ariete se utilizó esta fórmula para todos los porcentajes de apertura ya sea para tiempos de cierre menores o mayores a los 60 segundos, aquellos escenarios donde los tiempos de cierre fueron de 120, 180 y 300 segundos respectivamente, fueron generados con el fin adicional de poder observar a partir de que tiempo los efectos transitorios se atenúan lo suficiente como para asemejarse al régimen permanente y se los presenta en el Anexo 1.

Con los porcentajes de apertura ingresados en cada una de las cinco válvulas de regulación se precedió a realizar la corrida del modelo en el régimen transitorio obteniéndose de esta manera la envolvente correspondiente a la presión piezométrica o de diseño de la conducción y la envolvente transitoria generada por la maniobra de cierre ejecutada.



**Figura 24: Envoltentes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 25 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**

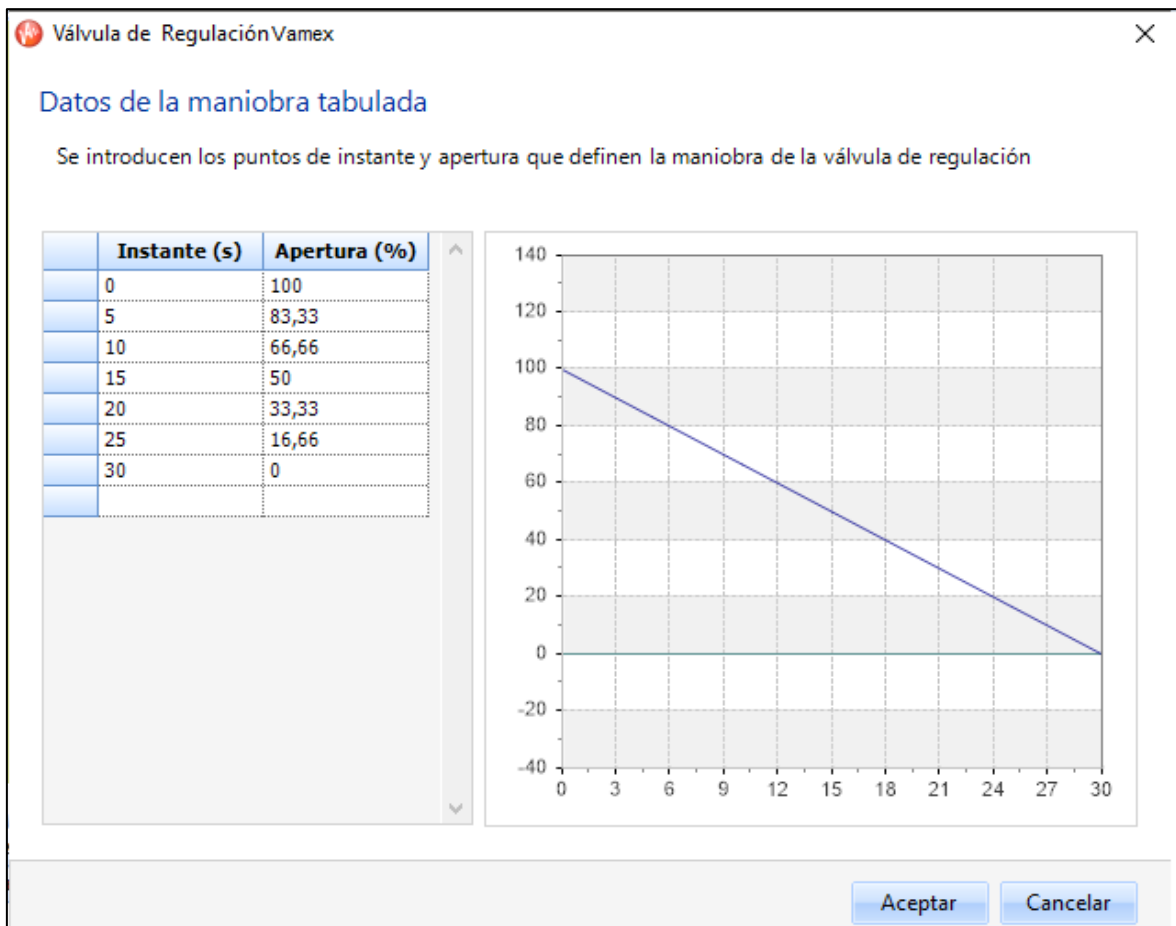
De la misma manera que fue presentado el régimen permanente los datos y puntos correspondientes al régimen transitorio fueron exportados a una hoja de cálculo Excel con el fin de poder observar de mejor manera el comportamiento de la conducción ante los efectos de este fenómeno y así obtener valores representativos que se muestran a continuación.



Analizando la Figura 24 presentada para el régimen transitorio se observan dos valores máximos para golpe de ariete representado por la línea de color rojo, el primer valor corresponde a 184,57 m.c.a y se encuentra ubicado en la abscisa 5+396 metros, el segundo valor es coincidente en magnitud con el primer pico, sin embargo se ubica en la abscisa 12+905 metros, igualmente se puede observar que existe un punto de la red donde se indica podrían haber problemas de sub presión con un valor negativo de -2,65 m.c.a esto se da debido a que en la abscisa 20+068 se observa una caída de la envolvente piezométrica quedando por debajo del perfil de tubería en 2,65 metros, para poder tener una idea clara de la incidencia de este fenómeno es necesario comparar los valores de presión piezométrica correspondientes a los picos por golpe de ariete, con el fin de concluir si estos valores de sobrepresión y sub presión podrían generar problemas significativos en la red de agua potable.

#### **4.2.3 Escenario 2.2: Cierre simultáneo de cinco tanques en un tiempo de 30 segundos**

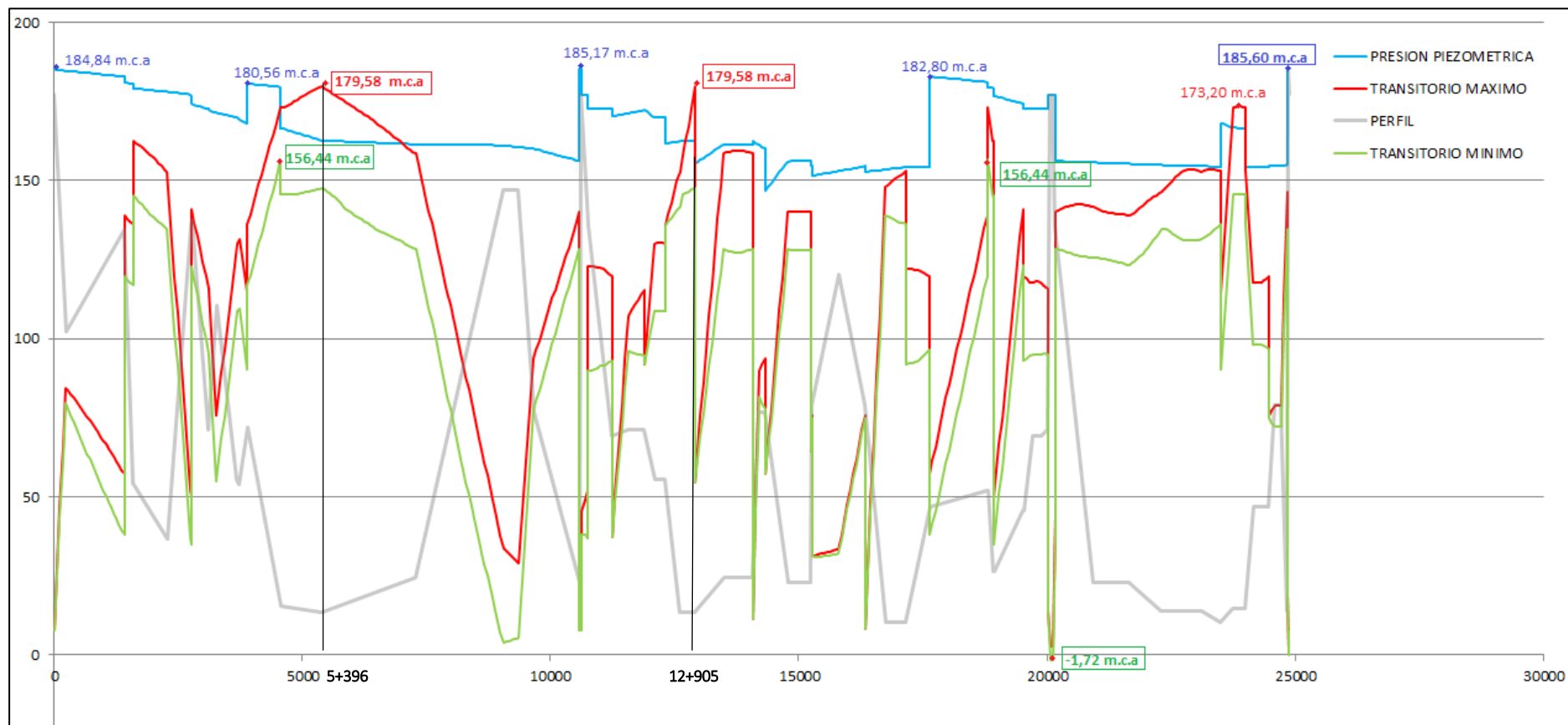
Continuando con la simulación de transitorios para el escenario de cierre simultaneo de los tanques de Winchele, Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria para el escenario 2,2 se realizó el cálculo de los porcentajes de cierre para cada válvula de regulación tipo mariposa basándose en la interpolación lineal explicada anteriormente donde sabiendo los valores extremos es decir al tiempo cero el porcentaje de apertura se asume del cien por ciento y al tiempo de treinta segundos el tiempo de apertura será de cero e interpolando para  $y = A + Bx$  se obtuvieron los porcentajes que se muestran en la siguiente interfaz para cada intervalo de 5 segundos de maniobra.



**Figura 26: Tiempos de cierre y porcentajes de apertura para una maniobra rápida de 30 segundos**

De la misma forma que han sido calculados los escenarios anteriores luego de ingresados los porcentajes de apertura y cierre de las válvulas se procedió a ejecutar la simulación y a la generación de las envolventes respectivas para la presión por golpe de ariete y la presión piezométrica del sistema, como se muestra adelante el comportamiento hidráulico que presenta la conducción de agua potable ante la influencia de este fenómeno es muy similar al comportamiento que se presentó en el primer escenario, sin embargo por el hecho de haber aumentado el tiempo de cierre en 5 segundos se puede observar claramente un decremento en los picos de la envolvente transitoria, esto se debe a que la energía de presión que se genera puede ser disipada de manera más uniforme y equitativa a lo largo de la conducción, igualmente se puede observar como en algunos casos aquellos tramos donde la envolvente piezométrica fue superada por la envolvente transitoria en el escenario anterior ahora por el incremento de tiempo han disminuido y otros han quedado bajo la envolvente de presiones piezométrica, dejando a estos tramos fuera de posibles inconvenientes por golpe de ariete.

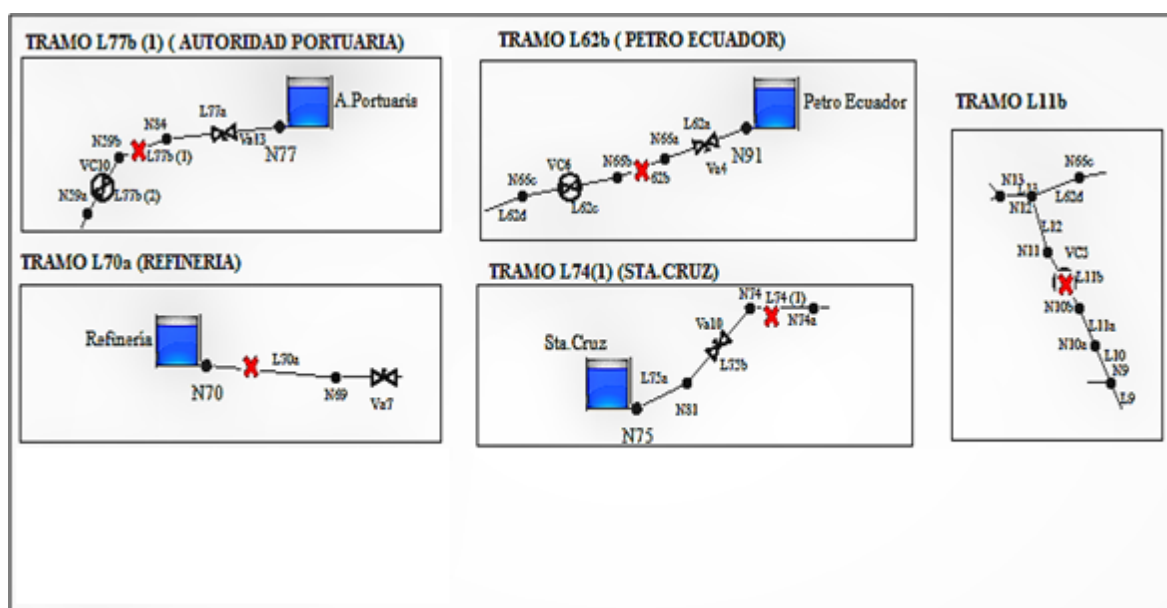
La Figura 26, muestra una reducción en la magnitud de presión para la envolvente transitoria de aproximadamente del 3% respecto del primer escenario, demostrándose así que el sistema puede ser mantenido dentro de un margen de seguridad siempre y cuando se ejecuten maniobras de cierre y apertura graduales, que permitan la correcta disipación de energía a lo largo del sistema, tomando en cuenta el hecho de que todas las válvulas serán vinculadas a un sistema de reducción de trabajo tal como lo son los sistemas desmultiplicadores se puede ver que con una correcta instrucción el personal encargado de la operación y control del sistema estaría en capacidad de evitar los problemas que conlleva la generación de transitorios. Dentro de las simulaciones que se llevaron a cabo para este escenario de cierre rápido de válvulas se pudo observar que a partir del tiempo de cierre correspondiente a 35 y 40 segundos en adelante hasta el escenario simulado de 60 segundos se produjo un decremento uniforme en las presiones del sistema llegándose a concluir que a partir de tiempos de cierre mayores a los 50 segundos el sistema se mantendrá libre de los efectos del golpe de ariete, estos escenarios y sus simulaciones han sido incluidos dentro del Anexo 1 donde se adjuntan las figuras y envolventes respectivas.



**Figura 27: Envolturas de presión para régimen transitorio con tiempo de cierre de 30 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**

### 4.3 Escenario 3: Rotura de la tubería

El modelo hidráulico planteado para este escenario fue estructurado basándose en la configuración de la red de conducción, donde se consideró la posibilidad de que se genere una rotura en un punto de la tubería, con el fin de poder determinar un punto de rotura que genere las variaciones de presión más significativas se realizaron varias simulaciones de las cuales se tomaron aquellas que arrojaron los resultados más significativos, estos puntos se ubicaron en las cercanías de los tanques Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria, adicionalmente por la sugerencia del Gerente del Proyecto el Ingeniero Rodrigo Carpio se realizó la simulación de rotura para el tramo de tubería “L11B”, el cual se encuentra ubicado entre los ramales de Petro Ecuador y la zona de servicio para Winchele como se puede observar en la Figura 27.



**Figura 28: Tramos para escenario de rotura de tubería del sistema de agua potable para la provincia de Esmeraldas y sus zonas de influencia**

Basándonos en las simulaciones efectuadas, de los cinco escenarios posibles para rotura de tuberías se ha seleccionado aquel que arrojó los resultados más críticos y es correspondiente al tramo de tubería “L11b”, este será explicado y analizado ya que fue el que presentó los efectos de golpe de ariete más relevantes y el resto de escenarios simulados serán presentados dentro del Anexo 2.



#### 4.3.1 Interfaz de rotura de tuberías

El software ALLIEVI permite la generación de escenarios con rotura de tuberías en puntos localizados del sistema de agua potable, en nuestro caso ya definida la estructura del sistema se procedió a ingresar los datos correspondientes en la interfaz de rotura de tuberías los cuales fueron definidos como:

**Distancia de rotura:** La distancia de rotura es definida como la distancia desde el origen del tramo de tubería hasta el punto donde se asume se dará la rotura de la pared de tubería, es importante señalar que el software permite la introducción de puntos de rotura a distancias que respeten la siguiente fórmula:

$$\text{Distancia Mínima} \geq 0,5(\Delta t * a)$$

Dónde:

$\Delta t$  = Intervalo de tiempo en el cual ocurre la rotura.

$a$  = Celeridad del tramo de tubería en cuestión.

Tomado de (Allievi, pág. 33)

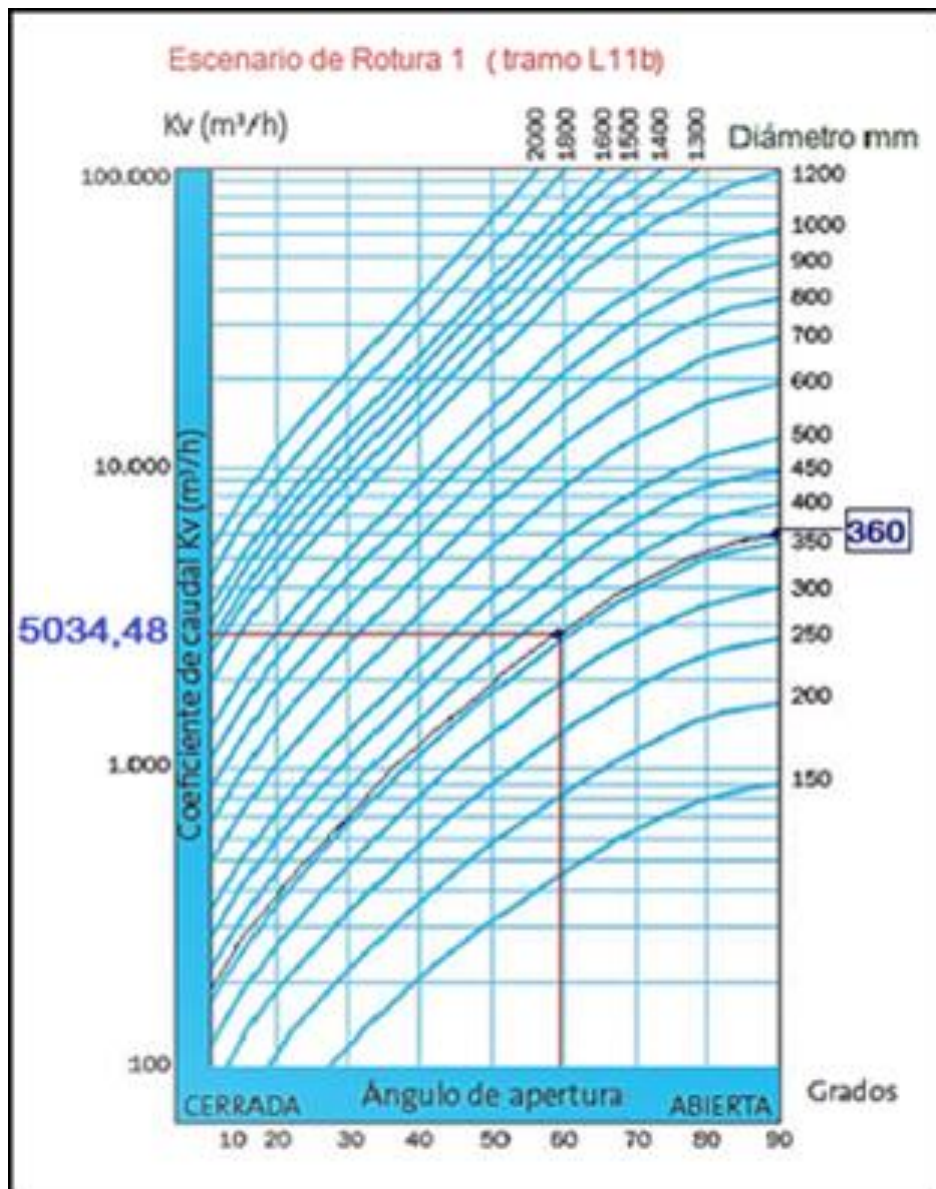
Adicionalmente de acuerdo con el manual de usuario ALLIEVI en la página 33 se indica que no está permitido roturas en los extremos de la tubería, o donde sea que existan uniones de accesorios, por lo tanto para facilitar el cálculo se procedió a asumir un punto de rotura ubicado al 50% de la longitud total de cada tramo analizado, igualmente se debe aclarar que para el cálculo de rotura el software realiza una evaluación en el caso de los elementos de control que sean propuestos para la mitigación de los efectos de golpe de ariete y en caso de coincidir elementos de control tales como válvulas de aire o ventosas en un mismo tramo de rotura estos son ignorados y no intervendrían en la simulación (Allievi, pág. 33).

**Instante de rotura:** Este campo está definido por el instante en el cual se inicia la rotura, por facilidad de cálculo se utilizó el instante igual a 30 segundos ya que en ese momento se considera que dentro de la simulación el sistema y el tramo en análisis ya están presurizados y en funcionamiento.

**Duración de la rotura:** Corresponde al tiempo en segundos durante el cual la rotura se mantiene en acción, este tiempo se tomó en consideración y se adoptó un valor de duración de rotura de 25 segundos ya que es el tiempo crítico de cierre de válvulas de regulación del escenario 1 y correspondería al tiempo mínimo en que se demorarían en ser cerradas las válvulas ubicadas en los tramos señalados en el caso de una posible fuga y rotura.

**Kv Final ( $\text{m}^3/\text{h}$ ):** Dentro de la interfaz se requiere el ingreso de este dato el cual relaciona el caudal virtual de descarga por la rotura en la pared de tubería con la presión interior de la tubería en el punto de la rotura, en manual de usuario de ALLIEVI en la página 32 se indica que una manera simplificada de calcular este factor puede ser calculándolo como un caudal que sale por una válvula abierta cuya sección de paso fuese la de rotura.

Para el cálculo de este factor primero es necesario aclarar que el agujero de falla o rotura presente en la tubería para la simulación estará representado por un agujero cuya sección no será mayor del 30 o 40% de la sección total de la tubería para fallas por golpe de ariete, ya que según el manual del AWWA M-11, en el capítulo número cinco, página 51 se indica que este porcentaje está basado en que la falla por sobre presión de una tubería de acero presenta un comportamiento plástico en su curva de esfuerzo-deformación característica, donde el agrietamiento inicial rara vez genera roturas con áreas mayores al 30 o 40% del área total de la tubería, por esta razón el diámetro que se adoptó para el cálculo del factor de caudal por rotura es del 30% del diámetro total de la tubería para cada caso, con el diámetro de rotura establecido el cálculo del factor de caudal se realizó utilizando el ábaco de Kv o coeficiente caudal disponible en el catálogo de válvulas mariposa EUROSTOP BB JPA página 12 que se presentan a continuación (American Water Works Association - AWWA, 2004, pág. 12).



**Figura 29: Ábacos para cálculo de Kv (m³/h) en función del diámetro y ángulo de apertura**

Adaptado de (Eurostop, 2011, pág. 12)

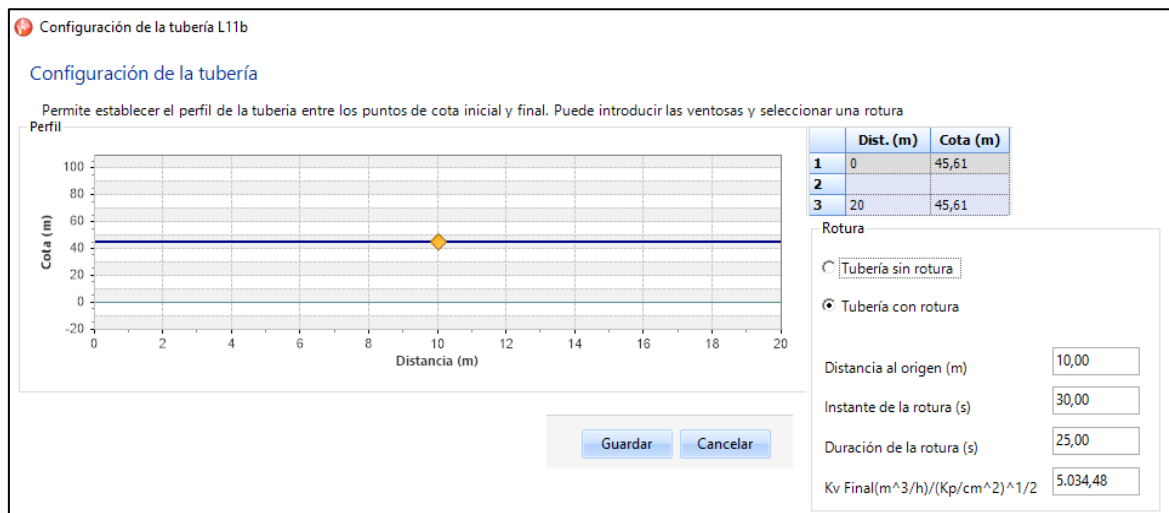
Como se observa en la Figura 28 los ábacos para el cálculo de Kv fueron calculados mediante interpolación logarítmica para cada tramo de tubería analizado, en los cuales se asumió la posible rotura, el valor obtenido en el ábaco “A” muestra que durante la falla de la tubería podrá atravesar un caudal de rotura de 5034,48 metros cúbicos por hora por un agujero de 360 milímetros, lo que causaría una variación instantánea en la presión de trabajo del sistema pudiéndose originar sub presiones o sobre presiones muy peligrosas en determinados puntos del sistema, es importante notar que los caudales de rotura fueron obtenidos mediante un ángulo de apertura de 60 grados para cada una de las válvulas, este

ángulo de apertura fue adoptado siguiendo las recomendaciones dadas en el informe del Cálculo y Diseño de Válvulas para el sistema regional de agua potable de Esmeraldas (Tanque de Carga –Tanque Chone) en la página 8, donde se recomienda mantener un ángulo de apertura de 60 grados para válvulas mariposa con el fin de tener una mejor regulación de caudal (ACSAM Consultores, pág. 8).

#### 4.3.2 Escenario 3.1: Rotura de la tubería (L11b)

El tramo de tubería denominado L11B consiste en un segmento recto de 20 metros de longitud en el cual se planteó un punto de rotura que se encuentra ubicado a 10 metros de la longitud total de dicho segmento siguiendo la condición establecida en 4.3.1, este se originará a los 30 segundos de empezado el funcionamiento del modelo dentro de la simulación y tendrá una duración de 25 segundos, tiempo estimado en el que se accionarán las válvulas de cierre para dicho tramo aislando la fuga y evitando así una pérdida mayor de presión y caudal.

El modelo de ruptura que se ha explicado se muestra representado en su correspondiente interfaz de la siguiente manera:



**Figura 30: Interfaz de rotura del tramo L11B**

Con la interfaz definida para el tramo en análisis se realizó la primera corrida en régimen transitorio, realizada la simulación se obtuvieron las envolventes correspondientes a carga piezométrica y por transitorio, evidenciándose en esta figura una variación significativa de

presión en el sistema por efectos de la rotura, donde se puede observar se producen presiones negativas principalmente en los puntos más elevados del perfil, llegando a alcanzar valores negativos de carga de hasta 21,19 m.c.a (línea de color verde) y en valores de sobre presiones por golpe de ariete (línea de color rojo) se observan valores de hasta 203,07 m.c.a respecto de una carga piezométrica de 185,60 m.c.a, es evidente que en este punto una ruptura podría causar un daño considerable en el sistema como se muestra a continuación:

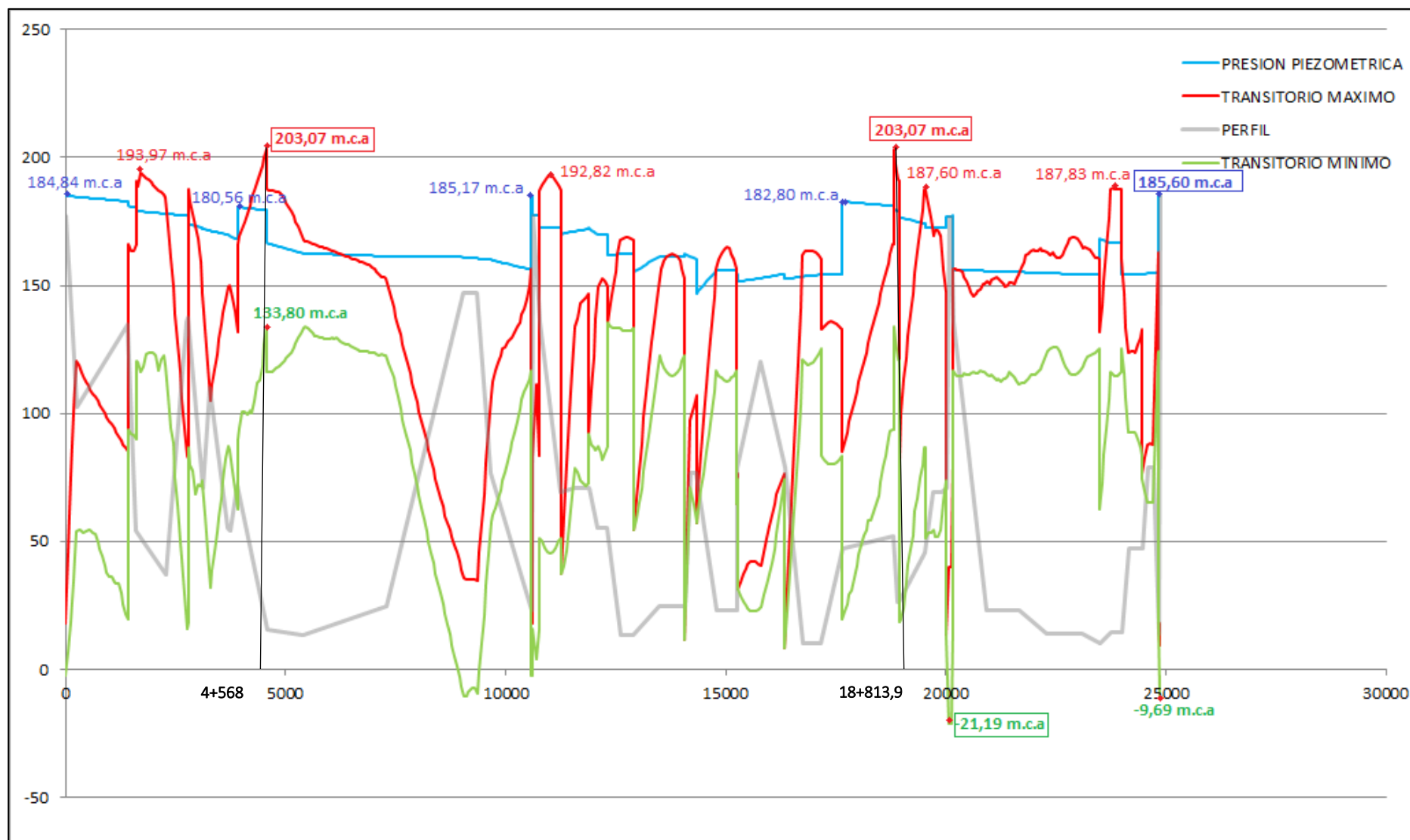


Figura 31: Envolventes de presión para rotura de tubería en el tramo L11B del sistema regional de agua potable de Esmeraldas

#### **4.4 Análisis comparativo entre escenarios e interpretación de resultados**

En este apartado se detallarán todos los resultados obtenidos en las simulaciones que fueron realizadas anteriormente con el software ALLIEVI y se procederá a compararlos entre sí, con el fin de obtener las solicitaciones más adversas a las que podría llegar a ser sometido el sistema de agua potable de Esmeraldas y su zona de influencia.

##### **4.4.1 Análisis comparativo e interpretación de los resultados entre escenario permanente y el escenario 2.1**

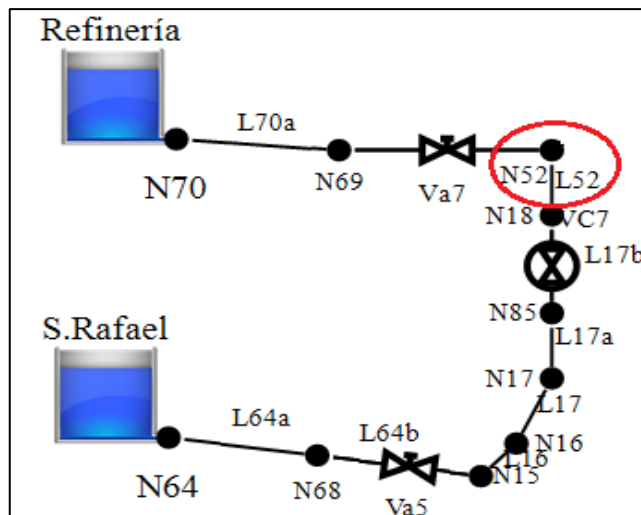
Teniendo en consideración que la simulación del régimen permanente es la base para el análisis del régimen transitorio aplicado a la maniobra de cierre con un tiempo de 25 segundos, maniobra perteneciente al escenario 2.1 el cual arrojó los resultados más significativos, se escogió realizar una comparación entre estos dos escenarios ya que se podrá observar con claridad la variación de presión que se genera al introducir efectos transitorios dentro del sistema de agua potable y de esta manera se observara como las ondas de presión se trasladan con una gran velocidad a lo largo del sistema desarrollando varios ciclos, las cuales en determinados puntos de la conducción son disipadas gracias a la elasticidad propia del material en cuestión, pero que en otros casos la tubería no es capaz de disiparlas en su totalidad y estas llegan a superar los valores admisibles de presión interna pudiendo causar daños considerables en el sistema o pudiendo mediante la acción de dichos ciclos de expansión y contracción de la sección se produzca una fatiga del material pudiendo originar rotura y un posterior colapso del sistema; a continuación se muestran los resultados obtenidos gráficamente del régimen permanente respecto con los obtenidos para el régimen transitorio mediante una maniobra de cierre simultaneo de válvulas correspondiente a 25 segundos, como se observa en la Figura 24 cada área de sobre presión ha sido marcada para la comparación de escenarios, llegando a un total de seis áreas donde la presión por golpe de ariete ha sobrepasado a la envolvente de presiones piezométrica, los valores de cada área de sobre presión se presentan a continuación en la Tabla 23.

**Tabla 23: Valores de Sobrepresión correspondientes al Área #1**

AREA DE SOBRE PRESIÓN 1					
ABSCISA	TRANSITORIO	P.PIEZOMETRICA	ABSCISA	TRANSITORIO	P.PIEZOMETRICA
4568,999935	177,3171844	166,5068512	5990,99995	178,72234	162,17906
4624,199936	177,6149902	166,2423248	6044,99995	178,15077	162,14635
4679,399937	178,0808411	165,9777985	6098,99995	177,56355	162,11363
4734,599937	178,6869659	165,7132721	6152,99995	176,97462	162,08092
4789,799938	179,3122864	165,4487457	6206,99995	176,37733	162,04820
4844,999939	180,0069275	165,1842041	6260,99995	175,77274	162,01549
4900,199940	180,6301727	164,9196777	6314,99995	175,16756	161,98277
4955,399940	181,2704163	164,6551514	6368,99995	174,60541	161,95006
5010,599941	181,8621826	164,3906250	6422,99995	174,03571	161,91734
5065,799942	182,3847504	164,1260834	6476,99995	173,44244	161,88463
5120,999943	182,9091949	163,8615570	6530,99995	172,82841	161,85191
5176,199944	183,3349915	163,5970306	6584,99995	172,20578	161,81920
5231,399944	183,6558533	163,3325043	6638,99995	171,52679	161,78648
5286,599945	183,957077	163,0679626	6692,99995	170,83423	161,75377
5341,799946	184,2639771	162,8034363	6746,99995	170,12813	161,72107
5396,999947	184,5762482	162,5389099	6800,99995	169,39421	161,68835
5396,999947	184,5762482	162,5389099	6854,99995	168,64655	161,65564
5450,999947	184,0953979	162,5061951	6908,99995	167,89923	161,62292
5504,999947	183,6126709	162,4734802	6962,99995	167,15434	161,59021
5558,999947	183,130127	162,4407654	7016,99995	166,40536	161,55750
5612,999947	182,6443329	162,4080505	7070,99995	165,61960	161,52478
5666,999947	182,1248322	162,3753357	7124,99995	164,84351	161,49207
5720,999947	181,5648804	162,3426208	7178,99995	164,08591	161,45935
5774,999947	180,9982452	162,3099060	7232,99995	163,36234	161,42664
5828,999947	180,4342499	162,2771912	7286,99995	162,72960	161,39392
5882,999947	179,8631744	162,2444763	7286,99995	162,72960	161,39392
5936,999947	179,2917633	162,2117767	7340,36359	158,89047	161,38315
5990,999947	178,7223358	162,1790619	7393,72723	155,04745	161,37238

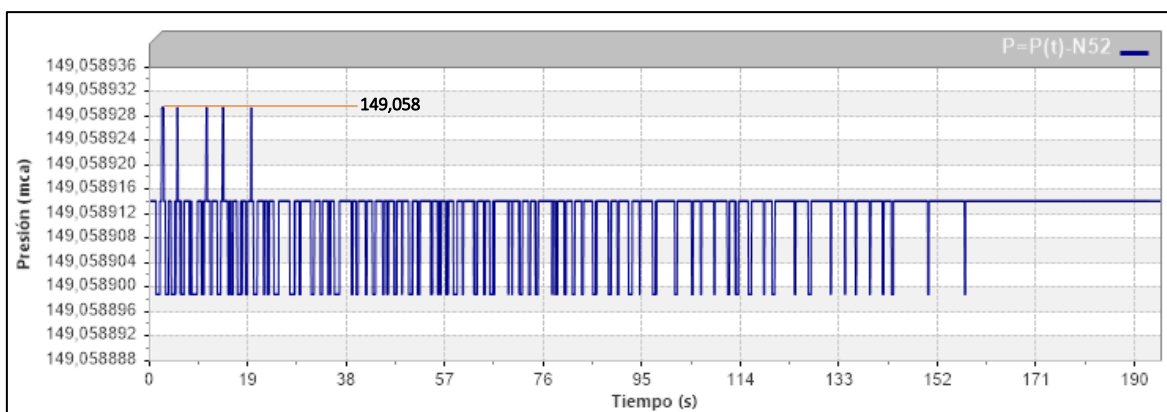
Como es posible observar en la Figura 24 del escenario 2.1 y en la Tabla 23 el área de sobre presión número 1 presenta un pico importante de presión con magnitud 184,57 m.c.a ubicado en la abscisa 5+396,99, este valor supera en 22,03 m.c.a a su valor correspondiente de presión piezométrica, esto nos indica que la energía de presión causada en ese punto debido al golpe de ariete no es correctamente disipada a diferencia del escenario permanente donde la presión en ese mismo punto alcanza los 149,05 m.c.a como máximo y no logra cortar la envolvente piezométrica, este comportamiento es de esperarse ya que como se observa en la Figura 31 el punto de mayor presión del área 1 se encuentra dentro del tramo que va desde en nudo “N15” ubicado en las salientes del tanque San Rafael antiguo hasta el nudo “N52” ubicado en las salientes del tanque de la Refinería.





**Figura 32: Tramo de tubería S. Rafael – Refinería**

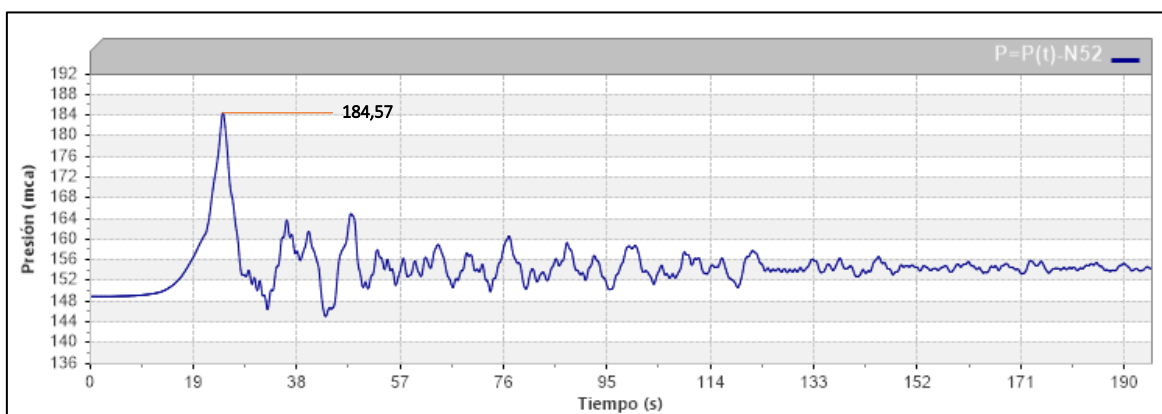
Este segmento con 828 metros de longitud es el segundo segmento de tubería más largo desde el Tanque de Carga hasta la abscisa 5+396,99 permitiendo así que las ondas de presión del golpe de ariete al generarse por el cierre simultaneo de las válvulas del tanque de Winchele y Petro Ecuador se amplifiquen gracias a la longitud de desarrollo disponible y por ende al llegar al punto mencionado se produzca un incremento violento de presión, con el fin de comprender de mejor manera este comportamiento se analizan las figuras de presión para el nudo “N52” el cual recibe el aumento de presión causado por el golpe de ariete y se lo compara con su figura en estado permanente.



**Figura 33: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Permanente**

Como se observa en la Figura 32 el comportamiento del nudo “N52” dentro del estado permanente muestra un aumento de presión inicial por apertura de válvulas y funcionamiento del sistema rutinario de 149,058 m.c.a como valor máximo, luego

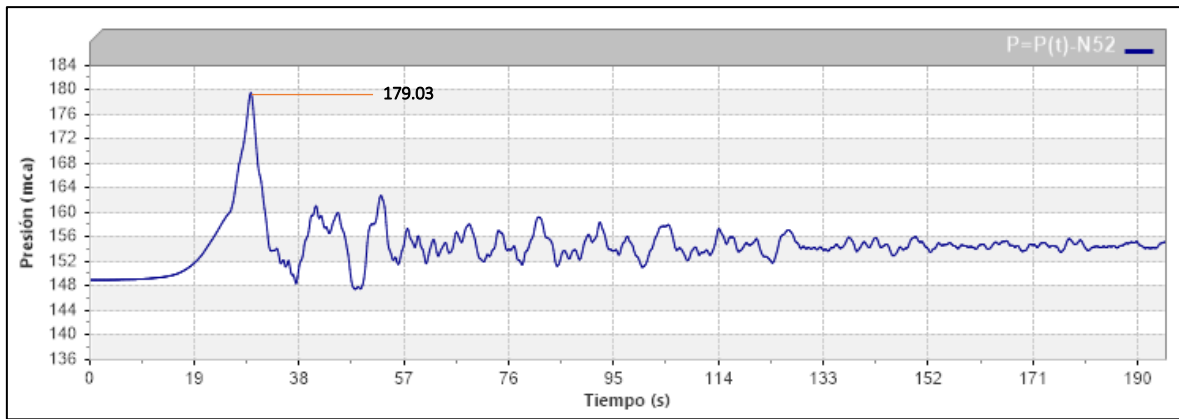
conforme transcurre el tiempo esta onda de presión es regulada y disipada por las características mecánicas de la tubería llegando a estabilizarse luego de aproximadamente 20 segundos de funcionamiento, sin embargo analizando la Figura 33 correspondiente al mismo nudo “N52” en el régimen transitorio, se puede observar una variación muy significativa en la onda de presión.



**Figura 34: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 25 segundos**

Esta variación como se había explicado anteriormente se genera en el segundo 25, tiempo correspondiente al cierre simultaneo de las válvulas de regulación de los tanques Winchele, Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria, alcanzando un pico de 184,57 m.c.a, cayendo rápidamente y regulándose aproximadamente a partir del segundo 30 de funcionamiento, hasta llegar a su disipación casi completa a partir de los dos minutos de operación.

De igual manera se procedió a analizar el mismo nudo para el escenario 2.2 con tiempo de cierre de 30 segundos con el fin de verificar el comportamiento antes descrito y observar cualquier variación que se llegue a producir, aunque ya de ante mano por el gran número de simulaciones realizadas se conoce que el comportamiento entre estos escenarios por su relativamente corta variación en tiempo es de gran similitud, debido a que la energía de presión no podrá alcanzar a disiparse por un incremento mínimo de cinco segundos en el tiempo de cierre de las válvulas antes mencionadas, como se aprecia en la Figura 34 el comportamiento antes descrito se confirma.

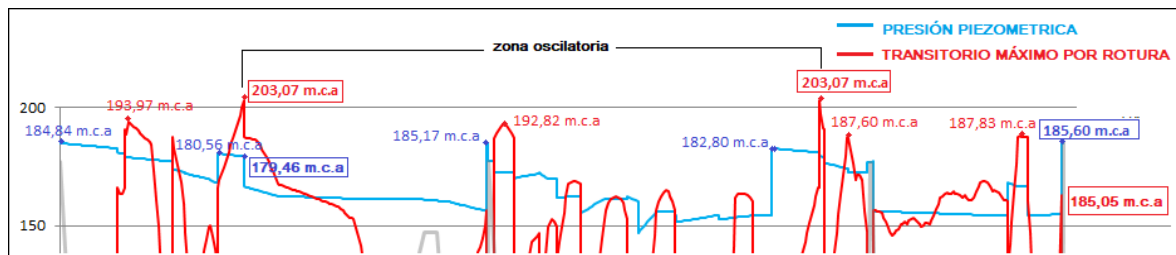


**Figura 35: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 30 segundos**

Como se ha explicado anteriormente se estimaba un comportamiento respecto a la variación de presiones muy similar al descrito para un tiempo de cierre de 25 segundos, sin embargo, la realización de este escenario y de los que se encuentran presentados en el Anexo 1; fue necesaria para poder observar una tendencia decreciente en el golpe de ariete de aproximadamente el 3% por cada 5 segundos de incremento en el tiempo de cierre de las válvulas de regulación.

#### **4.4.2 Análisis comparativo e interpretación de los resultados entre escenario crítico de rotura y régimen permanente**

Con el objetivo de analizar y comprar el escenario de rotura más crítico y los efectos que este género dentro de las simulaciones anteriores, se ha escogido el escenario más representativo de rotura, el cual muestra efectos notables de sobre presión y un cierto grado de sub presión, condiciones muy desfavorables para el funcionamiento de la red de agua, este escenario corresponde a la simulación por rotura en el tramo de tubería “L11B”, que como se ha mostrado anteriormente en la Figura 30 sus envolventes de presión reflejan un comportamiento típico del golpe de ariete en el que gran parte de la energía del cuerpo de agua ha sido absorbida por el material de la tubería pero no en su totalidad, y como resultado de esto se puede observar en la Figura 35 como la energía restante ha causado que en varios puntos de la línea de conducción la presión llegue a sobrepasar la envolvente piezométrica del sistema, advirtiendo posibles problemas al momento de ocurrir un evento de estas características.

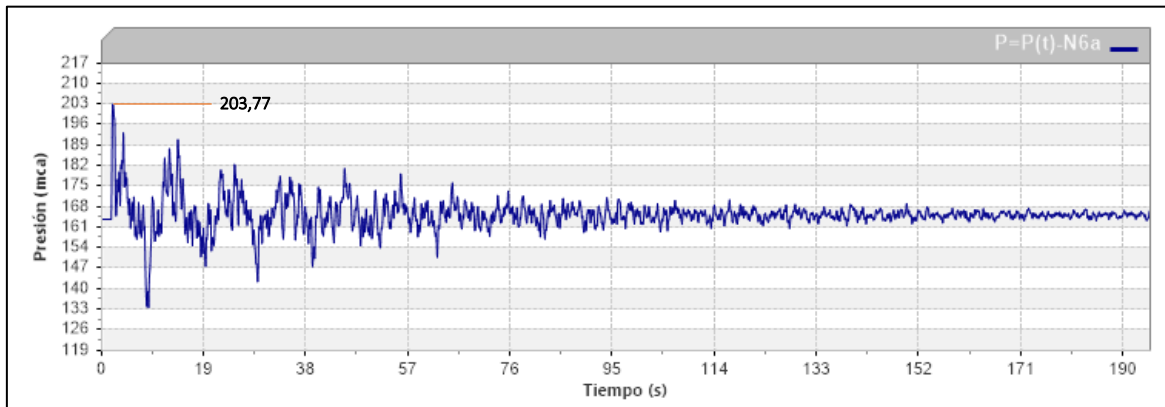


**Figura 36: Oscilación de presiones por rotura del tramo “L11B”**

Aquí se muestra una variación de presiones a partir de las abscisas 4+008 en adelante, con picos altos de presión cuyos valores máximos corresponden a 203,077 m.c.a, ubicados en las abscisas 4+568,9 y 18+813,99. Es de esperar este comportamiento ya que al producirse en la simulación una rotura de diámetro 360 mm en un punto del tramo “L11B” el cual durante la simulación a régimen permanente pudo ser considerado como un punto esforzado dentro del sistema, debido a que se encuentra influenciado por las cargas de presión que aportan los tanques de San Rafael, Winchele y Petro Ecuador, con lo que llega a soportar una carga piezométrica de 179,46 m.c.a, estas condiciones permiten que al momento de efectuarse la rotura se genere una onda de presión rápida en un tiempo muy corto, lo que hace pensar que estos efectos llegan a ser máximos en su fase inicial ya que la rotura provoca un cambio abrupto en la velocidad del agua debido a que el aire contenido dentro del sistema es expulsado a través de la rotura, en ese momento el golpe de ariete producido empieza a viajar a gran velocidad aguas arriba, alcanzando valores de presión que fluctúan entre los 177,21 y 164,26 m.c.a, esta ligera fluctuación de presión se debe efecto mitigador que aportan las válvulas compuestas, dispuestas a lo largo de la conducción. Sin embargo, por las características que presenta el acero como material, este cuenta con una buena resistencia a las deformaciones, por ende las ondas de sobre presión que viajan a gran velocidad no pueden transformarse en su totalidad de energía de presión a energía de deformación durante su trayecto en los primeros tramos de la conducción aproximadamente hasta la abscisa 18+813, por esta razón es que se puede observar en la Figura 36, que solo después recorrer más de la mitad de la red y de llegar al final del segundo pico de presión máxima el golpe de ariete empieza a ser disipado hasta alcanzar un valor de 185,05 m.c.a, comparando este comportamiento respecto al estado permanente del sistema, se ha podido comprobar que en un escenario de rotura se presentarían las solicitaciones más críticas para la red de agua potable, pudiendo llegar a generarse sobre presiones máximas que superan aproximadamente con un margen del 13% al rango de presiones admisibles por carga piezométrica en dichos puntos, situación que podría llegar a

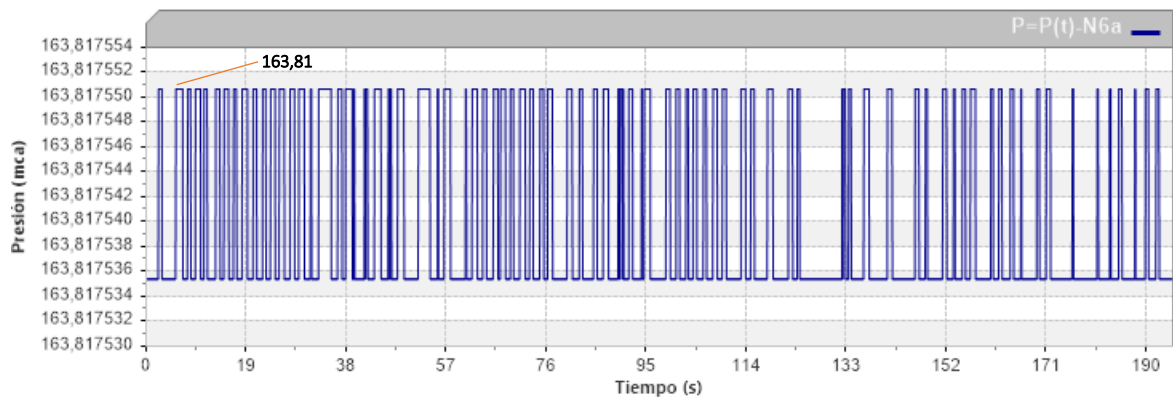
causar daños en ciertos tramos de tubería o en elementos de control y regulación como válvulas y tanques de almacenamiento.

Por lo que antes se ha dicho, con el fin de aclarar el comportamiento oscilatorio que se da por la rotura de la pared de tubería se analizan los nudos de la red en los cuales se tiene los valores máximos de sobre presión.



**Figura 37: Comportamiento del Nudo “N6a” para rotura de tubería del tramo “L11B”**

Como se puede observar, el comportamiento del nudo “N6a” es típico del golpe de ariete presentando picos de presión máximos en los primeros segundos de la rotura para luego mediante las características elásticas del acero empezar a ser disipadas, a partir de aproximadamente 20 segundos de simulación se puede observar como las ondas de presión básicamente se van regulando hasta alcanzar un equilibrio de presión, sin embargo, comparando este comportamiento con el régimen permanente que como se observa presenta un comportamiento uniforme se puede observar que el efecto de rotura no solo causa un incremento abrupto de presión dentro de los primeros segundos del evento, sino que también causa una caída de presión a lo largo del tiempo.



**Figura 38: Comportamiento del Nudo “N6a” para régimen permanente del tramo “L11B”**

Como se evidencia, en el régimen permanente el sistema se encuentra funcionando sin perturbaciones que causen una alteración considerable en sus elementos; en la Figura 37 se puede evidenciar como el sistema mantiene presiones casi iguales a lo largo del tiempo con variaciones casi imperceptibles, manteniéndose en un rango de presión aproximado de 163,81 m.c.a, comportamiento totalmente opuesto al evidenciado en la Figura 36, donde el valor pico de presiones corresponde a 203,077 m.c.a y posteriormente se presenta una tendencia decreciente en los valores de presión de hasta el 35% llegando a picos mínimos con valores de 133,80 m.c.a, no obstante este comportamiento refleja que la energía de presión está siendo disipada a lo largo del tiempo al convertirse en energía de deformación. La magnitud de presión empieza a disminuir notablemente hasta alcanzar valores medios de aproximadamente 165,56 m.c.a, y luego finalmente presentar un comportamiento más uniforme con un valor promedio de 167,28 m.c.a.

## **CAPÍTULO V**

### **5 MEDIDAS PARA REDUCIR EL EFECTO DEL GOLPE DE ARIETE**

#### **5.1 Verificación de espesores de la tubería**

Como parte indispensable de este análisis se propone la verificación de los espesores de tubería del sistema regional de agua potable para la provincia de Esmeraldas bajo los efectos del golpe de ariete que ha sido simulado en capítulos anteriores con el propósito de obtener las presiones máximas y mínimas a las que estará sometido el sistema a lo largo de su funcionamiento, luego de esto se propondrán las medidas necesarias para llevar a cabo la correcta prevención y control de dicho fenómeno. En la práctica la manera correcta de proteger un sistema de agua potable contra los efectos del golpe de ariete consiste en diseñar las tuberías con un espesor tal que sea capaz de resistir los esfuerzos cíclicos de tensión y contracción que se producen por efecto de las ondas de presión transitorias a lo largo de la vida útil del proyecto. En muchos casos esta verificación no se lleva a cabo permitiendo así que se utilicen tuberías con espesores sub dimensionados que a la larga serán susceptibles al deterioro y en algunos casos serán propensos a la fatiga, reflejando pequeños agrietamientos superficiales casi microscópicos pero que poco a poco irán agrandándose ante la acción cíclica de los esfuerzos de tensión y compresión hasta que finalmente ocurrirá una falla o rotura en los puntos más esforzados de la tubería, en estos casos es muy frecuente que la tubería colapse por la acción de esfuerzos mucho menores respecto de los que inicialmente se suponía podía soportar.

De acuerdo con la guía de diseño de la DSI “Ductile Iron Society” la fatiga en tuberías de acero por causa de la influencia de efectos transitorios es la causa principal entre el 75% y el 90% de las fallas registradas en sistemas de conducción, razón por la cual se justifica un cálculo de espesores a golpe de ariete para el tramo “Tanque de Carga-Tanque Chone”, en el cual se podrá verificar si los espesores calculados en el resumen del Diseño Hidráulico de la red entregado para la elaboración de este análisis por la empresa ACSAM cumplen con los requerimientos de presión de las simulaciones previamente realizadas (Ductile Iron Society, s.f.).

### 5.1.1 Cálculo de los espesores

Por todo lo expuesto anteriormente, el cálculo de los espesores de la red debe satisfacer los requerimientos más estrictos de resistencia, para esto el cálculo de los espesores se realizó usando la fórmula:

$$t = \frac{P * D}{2S}$$

Dónde:

$t$ = espesor de la pared de tubería

$P$ = Presión de diseño

$D$ = Diámetro de la tubería

$S$ = Esfuerzo admisible del acero (A572 grado 50)

Las tablas con los cálculos realizados se muestran en el Anexo 3, mientras que dentro de este capítulo se analizarán los resultados obtenidos para aquellos tramos donde el espesor de tubería puede ser sujeto a modificaciones, ya sea debido a un sub-dimensionamiento en la mayoría de los casos, o en algunos, por un ligero sobre-dimensionamiento que podría disminuir los costos en materiales de tubería.

### Régimen permanente

Para el régimen permanente, como se ha expuesto en el capítulo 4, las presiones generadas no representan un problema para el sistema de agua potable ya que en ningún caso han podido sobrepasar a la envolvente de presiones piezométrica máximas de la red, garantizando de esta manera que los espesores considerados en el cálculo hidráulico original de ACSAM serán capaces de soportar la presión interna que se genere por el funcionamiento del sistema. Por otro lado, como se muestra a continuación, bajo los efectos del fenómeno de golpe de ariete generado por el cierre rápido de válvulas de control en el escenario 2.1, ciertos tramos de tubería han mostrado no ser suficientes para resistir dichas presiones pudiendo presentar complicaciones a lo largo de su vida útil.



**Régimen transitorio: Verificación de espesores para el escenario 2.1 - Cierre simultáneo de cinco tanques en un tiempo de 25 segundos**

Con las envolventes y resultados que se obtuvieron en la simulación para el escenario 2.1 se pudo observar que las presiones generadas causaron los efectos más representativos dentro del sistema, evidenciándose que en ciertos tramos de tubería los espesores no son aptos para resistir los ciclos de expansión y contracción que enfrentara el sistema a lo largo de su vida útil pudiendo llegar a sufrir de fatiga en aquellos tramos donde estos efectos se presenten con mayor frecuencia. Como se muestra en las siguientes tablas los espesores de aquellos tramos que presentaron dificultades para resistir las sobre presiones han sido comparados con los nuevos espesores calculados que toman en cuenta los efectos del golpe de ariete.

**Tabla 24: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=500mm**

Espesores para tramos con D= 500 mm					
Tramo	D (mm)	L (m)	e diseño (mm)	Descripción	e G.Ariete (mm)
L61b	500	148	6,35	winchele	8
L62a	500	482	6,35	petro Ec	8
L63a	500	321	6,35	S.rafael(N)	8
L63b	500	321	6,35	S.rafael(N)	8
L64a	500	211,5	6,35	s.rafael	8
L64b	500	211,5	6,35	s.rafael	8
L70b	500	297,5	6,35	refineria	8
L71a	500	582,5	6,35	15 de Mrz	8
L71b	500	582,5	6,35	16 de Mrz	8
L72a	500	129	6,35	guacharaca	8
L72b	500	129	6,35	guacharaca	8
L73a	500	459	6,35	aire libre	8
L73b	500	459	6,35	aire libre	8
L75a	500	12	6,35	Sta.cruz	8
L75b	500	8,5	6,35	Sta.cruz	8
L76a	500	535,5	6,35	Betania	8
L76b	500	535,5	6,35	Betania	8
L60a	500	412	6,35	chone	8
L60b	500	412	6,35	chone	8
L62b	500	180	6,35	Petro EC	8
L62c	500	170	6,35	Petro EC	8
L62d	500	132	6,35	Petro EC	8
L61a (1)	500	53	6,35	Winchele	8
L61a (2)	500	50	6,35	Winchele	8
L61a (3)	500	45	6,35	Winchele	8
L74 (1)	500	124	6,35	Betania	8
L74 (2)	500	124	6,35	Betania	8
L74 (3)	500	124	6,35	Betania	8

**Tabla 25: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=600mm**

Espesores para tramos con D= 600 mm					
Tramo	D (mm)	L (m)	e diseño (mm)	Descripción	e G.Ariete (mm)
L77a	600	481,5	6,35	A.portuaria	8
L59a	600	400	6,35	Betania-chone	8
L59b	600	400	6,35	Betania-chone	8
L59c	600	395	6,35	Betania-chone	8
L77b (3)	600	160,5	6,35	Chone-A.portuaria	8
L77b (2)	600	160,5	6,35	Chone-A.portuaria	8
L77b (1)	600	160,5	6,35	Chone-A.portuaria	8

**Tabla 26: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=800mm**

Espesores para tramos con D=800 mm					
Tramo	D (mm)	L (m)	e diseño (mm)	Descripción	e G.Ariete (mm)
L55	800	301	7,14	15marzo-aire libre	8
L56	800	312	7,14	15marzo-aire libre	8
L57	800	924	7,14	15marzo-aire libre	8
L58a	800	773	7,14	aire libre-betania	8
L58b	800	720	7,14	aire libre-betania	8
L58c	800	650	7,14	aire libre-betania	8

**Tabla 27: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=1200mm**

Espesores para tramos con D= 1200 mm					
Tramo	D (mm)	L (m)	e diseño (mm)	Descripción	e G.Ariete (mm)
L10	1200	28	10,31	Winchele-S.rafael N	8
L12	1200	337	10,31	Winchele-S.rafael N	8
L13	1200	3	10,31	Winchele-S.rafael N	8
L14	1200	160	10,31	S.rafael N-S.Rafael V	8
L15	1200	409	10,31	S.rafael N-S.Rafael V	8
L16	1200	51	10,31	S.rafael V-Refineria	8
L17	1200	160	10,31	S.rafael V-Refineria	8
L52	1200	828	10,31	S.rafael V-Refineria	8
L53	1200	1890	10,31	Refineria-15Mrz	8
L54	1200	1761	10,31	15Mrz-Gacharaca	8
L11a	1200	580	10,31	Winchele-S.rafael N	8
L11b	1200	20	10,31	Winchele-S.rafael N	8
L17a	1200	244	10,31	S.rafael V-Refineria	8
L17b	1200	244	10,31	S.rafael V-Refineria	8

**Tabla 28: Espesores verificados para Golpe de Ariete de tramos con D=1500mm**

Espesores para tramos con D= 1500 mm					
Tramo	D (mm)	L (m)	e diseño (mm)	Descripción	e G.Ariete (mm)
L2	1500	240	10,31	T.carga-Winchele	10
L3	1500	1180	10,31	T.carga-Winchele	10
L5	1500	177	10,31	T.carga-Winchele	10
L8	1500	680	10,31	T.carga-Winchele	10
L9	1500	472	10,31	T.carga-Winchele	10
L6	1500	672	10,31	T.carga-Winchele	10
L1b	1500	30	10,31	T.carga-Winchele	10
L4a	1500	1151	10,31	T.carga-Winchele	10
L4b	1500	20	10,31	T.carga-Winchele	10
L7a	1500	100	10,31	T.carga-Winchele	10
L7b	1500	20	10,31	T.carga-Winchele	10
L1a (1)	1500	18,57	10,31	T.carga-Winchele	10
L1a (2)	1500	3,03	10,31	T.carga-Winchele	10
L1a (3)	1500	8,4	10,31	T.carga-Winchele	10

Como se puede observar en las tablas presentadas, los espesores reflejan una insuficiencia en su capacidad mecánica lo cual en el cálculo para la verificación de espesores ha llevado a incrementos de aproximadamente 2 mm para la mayoría de los tramos del sistema y para los tramos con diámetros de 1200 mm el cálculo ha permitido evidenciar un ligero sobre dimensionamiento optando por reducir de 10 a 8 mm dichos espesores, los incrementos calculados para aquellos tramos que lo ameritan garantizaran un comportamiento adecuado de la conducción ante los efectos del golpe de ariete, pero también esto se debe en parte a que la fórmula utilizada toma en consideración el diámetro, el esfuerzo de tensión admisible del material y la presión de diseño calculada para efectos transitorios en cada tramo de tubería, es decir se realiza un cálculo en basado en esfuerzos admisibles del material y no toma en consideración el número de ciclos de presión a los que estará sometida durante su vida útil, procedimiento que de acuerdo con la normativa internacional ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, dentro del inciso NC-3219.2.1 “Condition A” es sugerido para materiales sometidos a esfuerzos transitorios con una resistencia a tensión menor de 80.000 PSI, dicho procedimiento no corresponde ser realizado dentro del presente análisis pero teniendo en cuenta que el Sistema Regional de Agua Potable de la Provincia de Esmeraldas será construido haciendo uso de tuberías de acero A572 grado 50 con un esfuerzo de fluencia de 50.000 PSI y un esfuerzo admisible de 37.500 PSI, quedara como recomendación para la consultora ACSAM realizar un chequeo a fatiga basándose en lo antes indicado, si se decide llevar a cabo las modificaciones

necesarias, con el fin de garantizar un funcionamiento adecuado a lo largo de toda la vida útil del sistema (ASME Boiler and Pressure Vessel, 2015).

## **5.2 Medidas Aplicables**

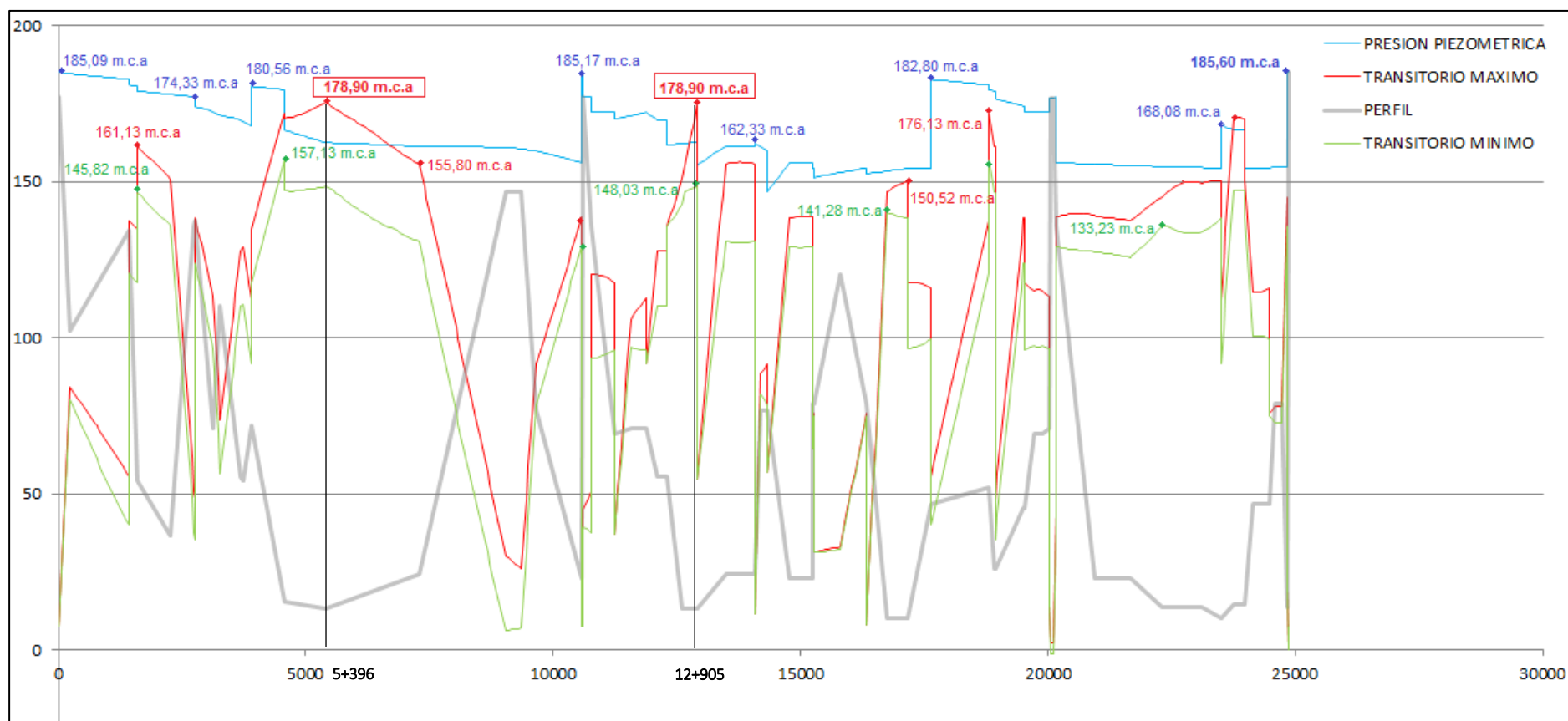
Con los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas del capítulo #4, se ha escogido al escenario 2.1 como el escenario crítico, ya que este representa un escenario muy probable de ocurrencia, en donde se pudo observar que el sistema de agua potable podría sufrir daños a largo plazo si es que se ejecutan maniobras de cerrado de válvulas demasiado rápidas durante el manejo y mantenimiento rutinario del mismo; con el objetivo de mitigar y controlar la variación de presión que se produce en este escenario, se plantean tres medidas individuales aplicables, la primera que consistirá en el cambio de espesores en ciertos puntos de la red de agua potable, la segunda medida consistirá en la implementación de cuatro válvulas reductoras de presión en tramos donde los efectos del golpe de ariete han rebasado la envolvente piezométrica máxima de la conducción, y la tercera medida siendo la más práctica y fácil de implementar consiste en establecer el uso de una ley de cierre para válvulas congruente con la usada en la simulación para el escenario 2.1 con un tiempo de cierre equivalente a dos minutos la cual se encuentra presente en el Anexo 1. Estas medidas son presentadas a continuación.

### **5.2.1 Cambio de espesores**

Como resultado de la verificación de espesores del tramo de conducción “Tanque de Carga- Tanque Chone”, se pudo observar que varios tramos de la conducción no contaban con un espesor suficiente para garantizar una resistencia adecuada ante las sobre presiones causadas por el golpe de ariete generado por una maniobra de cierre rápido en cinco válvulas ubicadas en las salientes de los tanques de Winchele, Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria. Estas sobre presiones fueron utilizadas para realizar el cálculo del mínimo espesor requerido para soportar dichos efectos, sin que se generen roturas en la pared de la tubería, deformaciones, o daños en dispositivos de control de caudal o válvulas compuestas, elementos que forman parte del sistema de conducción.

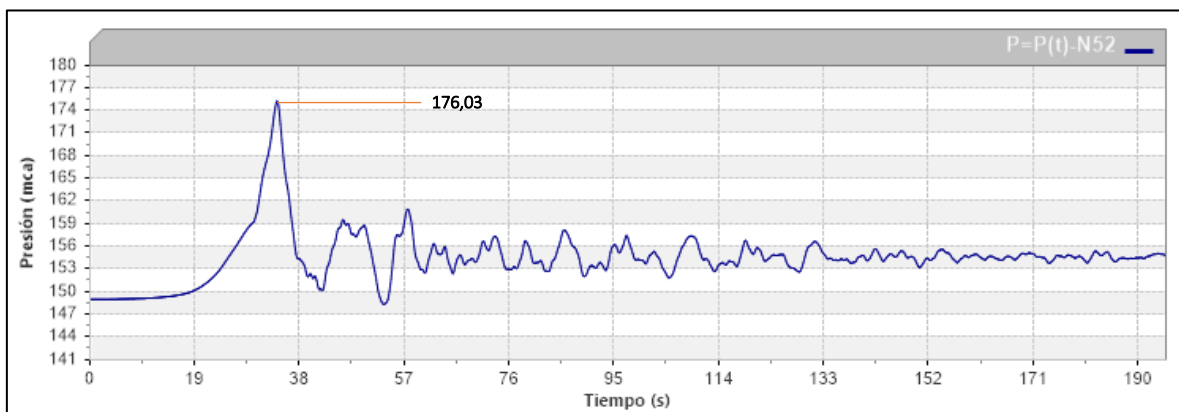
Al realizar el cambio de espesor en aquellos tramos donde se observó un comportamiento perjudicial por parte de las presiones por golpe de ariete, como se muestra en 5.1, se

procedió a realizar una nueva simulación en el software ALLIEVI, con el fin de observar si se producía un cambio en las envolventes de presión para transitorios máximos y mínimos de la red de conducción, como se puede observar en la Figura 38, la reducción de presiones es notable.



**Figura 39: Envoltentes de Presión para el Escenario 2.1 luego de incrementados los espesores de tubería**

El comportamiento que se observa en la Figura 38, muestra una ligera reducción de los efectos del golpe de ariete en la línea de conducción, debido a que al aumentar el espesor de la tubería en aproximadamente 2 milímetros la cantidad de energía de presión que es absorbida por el acero y luego transformada a energía de deformación plástica se ha incrementado. Y ha permitido obtener una reducción de aproximadamente 3% en los picos de presión que se obtuvieron respecto del escenario 2.1, el cual contaba con valores que alcanzaban los 184,57 m.c.a. Ahora gracias al incremento de espesores se han obtenido valores de presión por transitorios de máximo 178,90 m.c.a, los cuales continúan sobrepasando las presiones máximas de la envolvente piezométrica que posee valores que alcanzan los 185,6 m.c.a, ya que al aumentar la capacidad mecánica de la tubería se permite una mejor absorción de presión y se genera un incremento en los ciclos de fatiga que soportará, pero las presiones continuarán fluctuando dentro de un mismo orden de magnitud, también se puede observar en la Figura 39 que debido a esta mejora el comportamiento del nudo más esforzado del sistema en régimen transitorio, descrito anteriormente dentro de las simulaciones correspondientes a los escenarios 2.1 y 2.2 presenta una tendencia oscilatoria más uniforme, donde la magnitud de las presiones generadas ha disminuido y se ha regulado con valores máximos de 176,03 m.c.a que a partir de aproximadamente 60 segundos tiende a normalizarse hasta alcanzar valores regulares que bordean los 157,4 m.c.a.

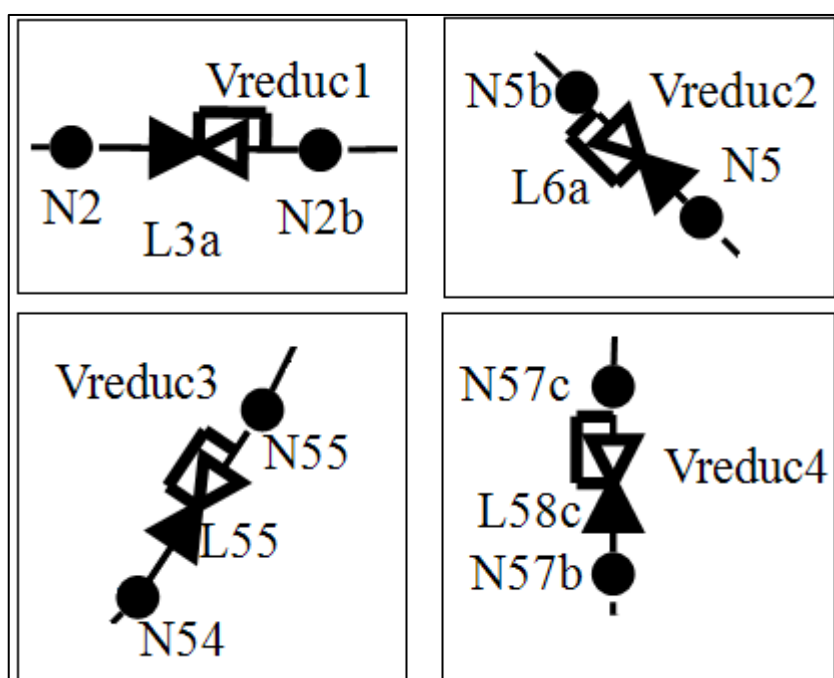


**Figura 40: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio para un tiempo de cierre de 25 segundos luego de incrementados los espesores de tubería**

El resultado que se obtiene con el incremento de espesores es el poder aumentar la capacidad y resistencia mecánica del sistema y a la vez reducir ligeramente la magnitud de las presiones generadas por golpe de ariete, permitiendo una mejor disipación de energía.

### 5.2.2 Implementación de válvulas reductoras de presión

Dentro de las medidas aplicables al proyecto de agua potable para la provincia de Esmeraldas se encuentra la posibilidad de implementar válvulas reductoras de presión en aquellos tramos de tubería donde las variaciones de presión causadas por el golpe de ariete ameriten, siempre teniendo en cuenta un aspecto económico que no impacte de manera negativa al presupuesto del proyecto. Con esto establecido y luego de varias simulaciones las cuales se encuentran presentadas en el Anexo 4, se encontró que con la implementación de cuatro válvulas reductoras de presión los efectos causados por el golpe de ariete del escenario 2.1 se reducen drásticamente como se explica más adelante. Estas válvulas reductoras se encuentran ubicadas en los tramos L3a, L6a, L55 y L58c tal como se muestra en la Figura 40.



**Figura 41: Válvulas reductoras de presión para tramos L3a, L6a, L55 y L58c**

La simulación del escenario en cuestión se basó en el uso de válvulas de paso anular con un diámetro nominal correspondiente a 1500 mm para aquellos dispositivos ubicados en los tramos L3a y L6a, igualmente para los dispositivos ubicados en los tramos L55 y L58c se utilizó diámetros nominales correspondientes a 800 mm, todos congruentes con el diámetro nominal del tramo de tubería al que pertenecen. La interfaz de válvulas reductoras de presión del software ALLIEVI cuenta con una base de datos previamente



cargada como se muestra en la Tabla 29, la cual permite introducir a la simulación válvulas de reducción donde la presión por golpe de ariete exceda los límites de la envolvente piezométrica del sistema.

**Tabla 29: Interfaz de Válvulas reductoras de presión para los tramos L3a, L6a, L55 y L58c**

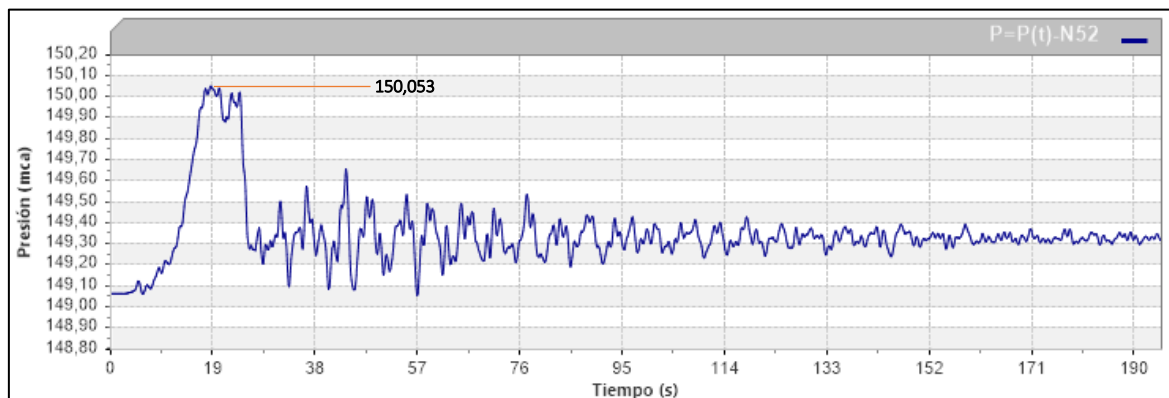
Válvula Automática - Datos básicos						
Nombre	Zs (m)	DN (mm)	Clase	Tipo	Modelo	
Vreduc1	102.32	1500	Reductora presión ▼	Comercial ▼	Paso Anular	...
Vreduc2	54.38	1500	Reductora presión ▼	Comercial ▼	Paso Anular	...
Vreduc4	22.88	800	Reductora presión ▼	Comercial ▼	Paso Anular	...
Vreduc3	146.99	800	Reductora presión ▼	Comercial ▼	Paso Anular	...

Dentro del software las válvulas reductoras de presión son presentadas como dispositivos reguladores y de control hidráulico cuya función es la de reducir las ondas de presión elevadas a la entrada del dispositivo y mantenerlas en un valor fijo aguas arriba de su punto de salida, independientemente de la variación de caudal y presión que se presente en los tramos siguientes, de manera similar cuando el consumo dentro del sistema es nulo estos dispositivos se cierran, manteniendo las condiciones de presión reguladas al momento de su instalación, para efectos de la simulación la presión regulada se ha fijado en un valor límite de 150 m.c.a, esto debido a que en las simulaciones realizadas en el capítulo 4, se ha podido observar que los transitorios más relevantes del escenario 2.1 son aquellos cuya magnitud logra superar este valor, por ende con el fin de obtener una reducción en la sobre presión se adopta este valor como presión de consigna, lo cual implica que a partir de este valor cualquier onda de presión que tienda a sobrepasar dicho límite será reducida y estabilizada. Con la presión de consigna establecida dentro de la interfaz para datos de entrada de válvulas reductoras tal como se muestra en la Tabla 30, se procedió a realizar la simulación obteniéndose las envolventes de presión correspondientes para transitorios y presiones piezométricas, que se analizan a continuación.

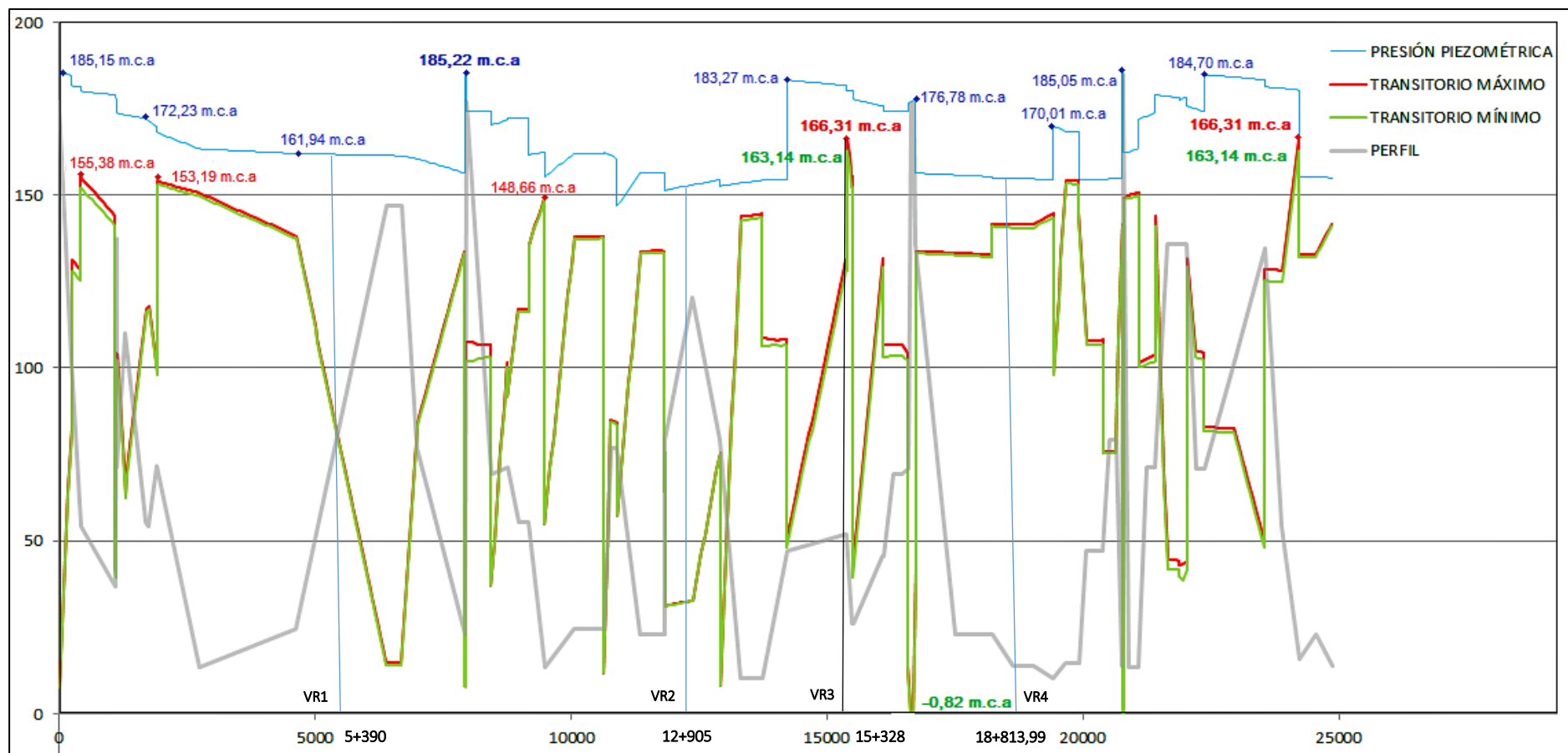
**Tabla 30: Interfaz de Regulación**

Nombre	DN (mm)	Ptar (m)
Vreduc1	1500	150
Vreduc2	1500	150
Vreduc4	800	150
Vreduc3	800	150

Como se puede observar en la Figura 42, la implementación de válvulas reductoras de presión en los tramos L3a, L6a, L55 y L58c ha permitido la reducción de las ondas de sobrepresión causadas por el golpe de ariete del escenario 2.1 en porcentajes considerables, tal como se aprecia en la Figura 24 del capítulo 4, en los puntos correspondientes a las abscisas 5+390 y 12+905 metros durante la simulación se obtuvieron valores de sobrepresión máximos correspondientes a 184,57 m.c.a, ahora luego de la implementación de las válvulas reductoras de presión en la Figura 42 se aprecian valores máximos correspondientes a 166,31 m.c.a para golpe de ariete, estos valores muestran una reducción de presión aproximadamente del 10% en dichos puntos, colocando a la envolvente de presión por transitorios por debajo de la envolvente piezométrica máxima del sistema en todos los puntos, de igual manera realizando un chequeo de presión en el nudo “N52” el cual soporta en la mayoría de simulaciones los incrementos de presión más relevantes, se muestra un comportamiento oscilatorio típico con magnitudes de presión reducidas hasta en un 19% respecto del régimen transitorio mostrado en el escenario 2.1, alcanzando picos de presión máximos de 150,053 m.c.a como se muestra en la Figura 41.



**Figura 42: Comportamiento del Nudo “N52” en Régimen Transitorio bajo la acción de válvulas reductoras de presión**

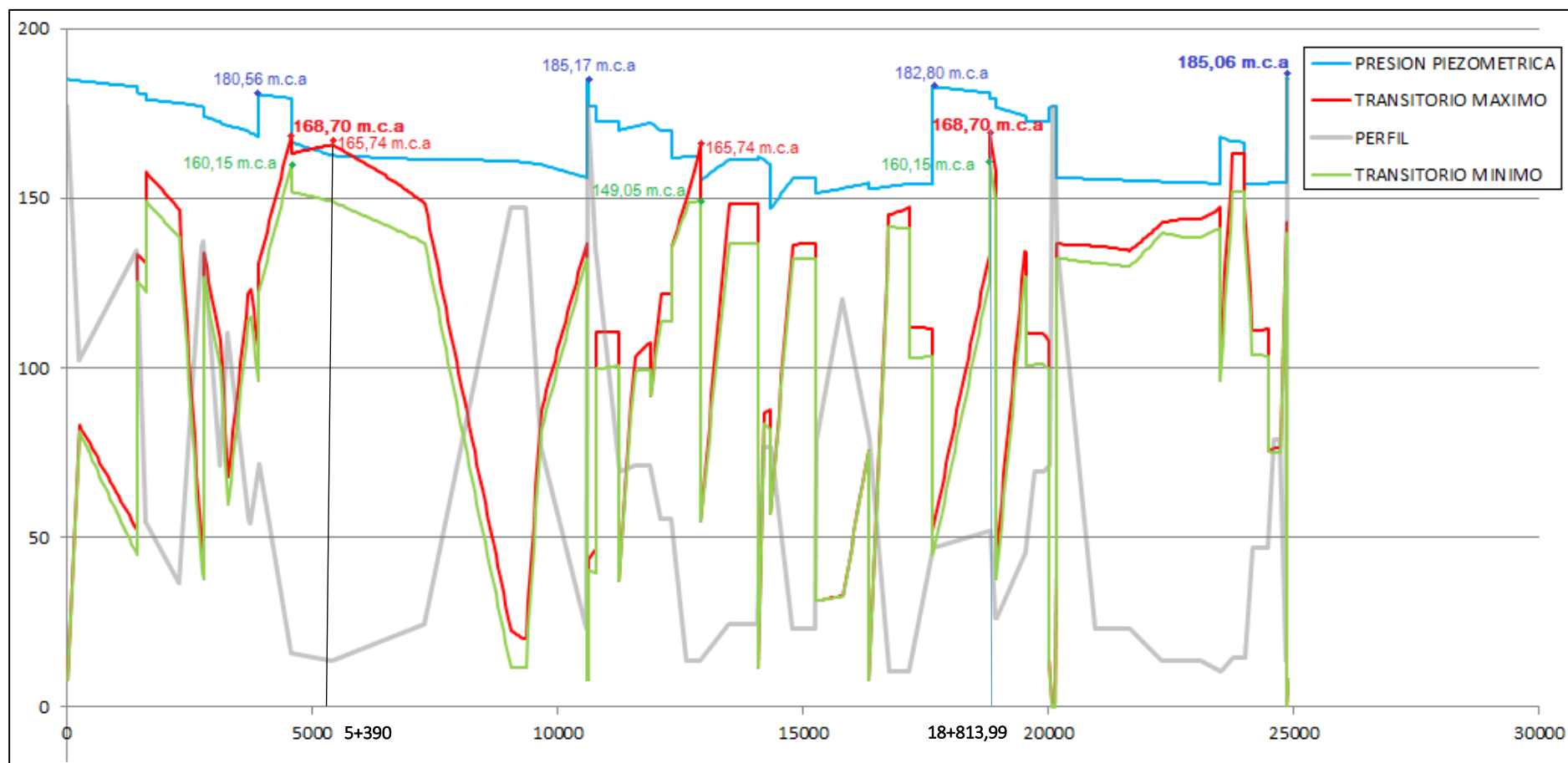


**Figura 43: Envolventes de Presión para el Escenario 2.1 bajo la acción de válvulas reductoras de presión**

Este comportamiento resulta beneficioso debido a que gracias la acción de las válvulas reductoras de presión se pueden reducir las solicitaciones mecánicas de las tuberías que conforman el sistema de agua potable de la provincia de Esmeraldas, además como se ha observado en este escenario de simulación, el uso de válvulas reductoras de presión en un sistema de agua potable con las dimensiones que lo caracterizan resulta ser un medio auxiliar económico que más adelante será demostrado, ya que en comparación al cambio de tramos de tubería debido a espesores insuficientes, esta medida aplicable resulta realista y de rápida acción dependiendo simplemente de la adquisición de dichos dispositivos y de su correcta instalación en campo.

### **5.2.3 Aplicación general de una ley de cierre mayor o igual a 60 segundos**

Dentro de las simulaciones realizadas en el capítulo 4 para régimen transitorio, se realizaron cuatro adicionales, presentes en el Anexo 1, las cuales corresponden a 60, 120, 180 y 300 segundos para tiempos de cierre en las válvulas de regulación, como resultado de estas simulaciones se pudo apreciar una tendencia decreciente del efecto causado por las ondas de sobre presión ya que mientras el tiempo de cierre se incrementa la magnitud de las mismas empieza a disminuir, esto se debe a que la cantidad de energía causada por el golpe de ariete cuenta con un mayor tiempo para ser asimilada por las paredes de la tubería y por consiguiente puede disiparse en forma de pequeñas deformaciones unitarias aguas arriba del sistema. La simulación para un tiempo de cierre de 60 segundos como se muestra en la Figura 43, muestra un deceso en las presiones máximas para golpe de ariete respecto de los escenarios previos, específicamente respecto del escenario 2,1 presenta una reducción del 8,6%, alcanzando 168,70 m.c.a como pico de presión máxima versus 184,57 m.c.a que se tenía previamente, este comportamiento refleja una disipación de energía proporcional al tiempo de cierre, demostrándose que un tiempo de 60 segundos es un tiempo apropiado para la ejecución de maniobras de cierre, no llegando a mitigar el ariete en su totalidad ya que como se observa a partir de la abscisa 4+568 y 18+813 respectivamente todavía permanecen ciertos picos de presión que logran superar las presiones piezométrica hasta en un 2% de magnitud. Por esto, cabe incluir dentro de las medidas a aplicar la ejecución de maniobras de cierre con tiempos mayores o iguales a 60 segundos independientemente de cual llegue a ser la medida de atenuación escogida por la empresa consultora al final del análisis.



**Figura 44: Envolventes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre igual a 60 segundos**

### **5.3 Presupuesto referencial de materiales**

El costo referencial del proyecto de agua potable para la provincia de Esmeraldas se encuentra estructurado en dos grupos de inversión, el primero constituido por aquel presupuesto requerido para la ejecución de todas las obras civiles y partes constructivas del proyecto, considerando todos los costos indirectos y costos directos de dichas obras civiles, así como también presupuestos para materiales, equipos y accesorios. El segundo grupo de inversión ha sido constituido en base a la necesidad de cubrir cualquier variable de costo que se genere directamente en los procesos de fiscalización, licencias ambientales, y la adquisición adicional de terrenos para expropiación y puesta en marcha del proyecto.

Por lo tanto en este capítulo se describe de manera resumida el alcance de los componentes presupuestarios del proyecto, así como también el costo que tendrá la implementación de los elementos de control para el fenómeno de golpe de ariete en el sistema de agua potable, cada uno de los elementos y de los componentes que tienen relación con la ejecución de la obra civil global del proyecto, tales como la obra de captación, plantas de potabilización, las conducciones, tanques de reserva y demás obras se encuentran organizadas igualmente en dos bloques de inversión los cuales son llamados como obras civiles a todos aquellos componentes que se encuentran involucrados en la conformación o fabricación de los elementos de obra o de edificaciones estructurales; de igual manera el segundo grupo de inversión se encuentra estructurado en base a todos aquellos equipos y accesorios, en los que se encuentran contemplados todos los bienes de adquisición y suministros de importación tales como válvulas adicionales para control y protección del sistema, y equipos que serán incorporados directamente en el sistema luego de su finalización junto con sus respectivas instalaciones. La valoración del presupuesto referencial en base a las obras integrantes del proyecto se encuentra estructurada tomando en cuenta las especificaciones técnicas y planos para cada rubro a ejecutarse, de estos documentos se han podido obtener las cantidades aproximadas de obra, cantidad de accesorios y piezas contempladas dentro del diseño estructural del sistema.

#### **5.3.1 Cantidades de obra**

De acuerdo con el diseño definitivo para el sistema regional de agua potable para la provincia de Esmeraldas entregado por la consultora ACSAM, las cantidades de obra y

equipamiento necesario para la ejecución del proyecto fueron obtenidas mediante el uso de listas generales para equipos mecánicos, planos de diseño estructural de cada obra civil puesta en ejecución, listas generales de equipos eléctricos e instrumentos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.

Para cada uno de los elementos de obra involucrados en la ejecución y construcción de la red de conducción en especial del sistema de tuberías y accesorios necesarios que es la parte constructiva del sistema, directamente involucrada con este análisis hidráulico, la metodología de medición para cantidades y elaboración de presupuestos es como se muestra a continuación:

La cuantificación para tuberías de acero ha sido establecida con un criterio que considera una holgura adicional de entre el 5% y el 10% de longitud, con el fin de contar con una reserva de tubería para mantenimiento y reposición de tramos afectados o desgastados a lo largo del tiempo de vida del proyecto.

Los volúmenes de excavación para zanjas de tubería y estructuras de soporte fueron cuantificados tomando en consideración la forma, diámetro, profundidad y orientación de los segmentos de conducción.

Los accesorios menores de acero directamente relacionados con el armado y estructuración del sistema de conducción de tuberías, tales como tornillos de presión y corte, tuercas de ensamblaje y piezas de acoplamiento serán fabricadas de manera local siguiendo la normativa de elaboración planteada por la AWWA C-208-96.

Para la cuantificación del filete de soldadura se considera el número de pasadas alrededor del perímetro de unión entre tubos, así como el pulimiento de superficie tanto interno como externo de cada tramo de tubería, como un solo valor presupuestado dado que cada uno de estos procedimientos se encuentra relacionados entre sí de manera directa.

Las piezas primarias y secundarias de acero deberán cumplir de manera exacta con la normativa impuesta y con su dimensionamiento procedente del diseño y cálculo estructural, con el fin de garantizar un correcto montaje y operación del sistema.

### **5.3.2 Costos Directos**

Los costos directos abarcan todos los elementos básicos, equipos, materiales y mano de obra necesarios para la elaboración de la obra civil, los cuales han sido cuantificados y presupuestados como se muestra a continuación:

- **Material y Equipo**

El costo de equipo y maquinaria de importación fue definido mediante la solicitud de cotizaciones directas al proveedor, en el caso de este análisis la proforma y el análisis de precios unitarios de válvulas VAMEX para cada uno de los elementos de control y regulación de presión por golpe de ariete son presentados más adelante. Los precios brindados por el proveedor fueron cotizados tomando en cuenta su instalación directamente en Esmeraldas en cada uno de los sitios correspondientes, y como se indica adelante estos consideran los costos de transporte, seguro, impuestos e instalación.

El costo necesario para la fabricación de elementos de fijación y colocación del sistema de tuberías y de válvulas tales como pedestales y mesas de acoplamiento fueron fabricadas previamente de manera local y fueron cotizados en su mayoría basándose en la base de datos y precios históricos de ACSAM.

- **Mano de obra**

El valor para la cuantificación y estimación en costo de la mano de obra para procedimientos de manipulación, construcción, montaje e instalación ha sido considerada basándose en las tablas de valor actualizado para mano de obra proporcionadas por la contraloría general del estado, las cuales rigen por sobre cualquier valor estimado y sirve a su vez para establecer la tarifa standard según la categoría del trabajador. Esta tarifa es establecida considerando el costo directo base, que incluye su correspondiente salario, impuestos legales y beneficios sociales.



- **Transporte**

El costo del transporte de equipos, suministros, materiales y bienes en general desde el punto de fabricación o procedencia hasta el lugar de destino ya sea el punto de montaje o instalación, así como también las bodegas de almacenamiento ubicadas generalmente en centro de la obra, es considerado dentro del costo de suministro proporcionado por los proveedores.

### 5.3.3 Costos Indirectos

De acuerdo con el informe de evaluación y factibilidad del proyecto, entregado por la consultora ACSAM, los costos indirectos alcanzan valores superiores al 20% del costo directo, de manera resumida este porcentaje se encuentra influenciado en gran manera por los siguientes factores:

**Tabla 31: Principales costos indirectos del sistema**

Principales costos indirectos del sistema	
1. Gerencia de la construcción	7. Gastos generales y administrativos
2. Soporte a la construcción	8. Gastos locales, movilización y servicios
3. Contingencia	9. Costos financieros
4. Seguros y prevención de accidentes	10. Riesgos e imprevistos
5. Utilidades del contratista	11. Reparación y reposición de conexiones
6. Daño a la propiedad pública	12. Garantías previstas para el/los contratos

Adaptado de (ACSAM Consultores)

En general el presupuesto para costo indirecto de este proyecto ha sido considerado para efectuar una correcta administración desde la oficina central hasta el sitio de obra, considerándose así dentro de dicho presupuesto a todos los gastos administrativos y de carácter técnicos más representativos que no han podido ser incluidos dentro del costo de todos aquellos elementos que conforman el sistema regional de agua potable para la provincia de Esmeraldas y su zona de influencia. Por la estructura que se ha mostrado anteriormente la inversión total requerida para la elaboración del proyecto en cuestión corresponde a 165.439.670 dólares, los cuales serán desglosados anualmente hasta alcanzar el año de plazo límite del proyecto, como se puede observar en la tabla 31 dentro del

periodo 2014-2015 la inversión para la elaboración del proyecto representa el periodo más fuerte de gasto alcanzando un costo de inversión de 83.473.976 dólares, siendo casi el 50% del costo total de inversión del proyecto.

#### **5.3.4 Presupuesto referencial para válvulas reductoras de presión**

En base al desempeño positivo que mostró el sistema de agua potable de la provincia de Esmeraldas al llevar a cabo la simulación para medidas aplicables en 5.2.2 siendo equipado con un conjunto de cuatro válvulas reductoras de presión, se procederá a calcular el presupuesto referencial como la variación de costo que se dará solamente por la implementación de dichos dispositivos de control, ya que debido a la situación actual que presenta el proyecto donde la mayoría de equipos, tubería y accesorios fue comprada a inicios del año 2015 el cálculo de un presupuesto referencial que implique el reemplazo parcial o total de los tramos de tubería que han presentado vulnerabilidad ante los efectos del golpe de ariete no tendría sentido ya que sería una medida inaplicable dado el grado de avance del proyecto. Por lo explicado previamente y basándose en el comportamiento que se obtuvo en la simulación con válvulas reductoras de presión, el señor Ing. Rodrigo Carpio en calidad de Gerente y empleado de la Unidad de Gerenciamiento del Proyecto Esmeraldas (UGP-E) proporcionó la información correspondiente al análisis de precios unitarios y al presupuesto general del proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema Regional de Agua Potable de Esmeraldas y su zona de Influencia”, el cual se muestra presentado en la Tabla 31, donde se hace referencia al proceso de inversiones anual sobre el cual se encuentra estructurado el proyecto, para dicho proceso de inversiones el proyecto se ha programado culminar el año 2018 con una inversión de 74.924.180 dólares, es dentro de este presupuesto parcial que será adicionado el incremento económico que se obtenga por la implementación de los dispositivos de reducción de presión establecidos anteriormente.

Como se puede observar la tabla 31, dentro del primer periodo correspondiente a los años 2014-2015 la inversión alcanza los 83.473.976 dólares, valor que representa aproximadamente el 50,46% del costo de inversión total del proyecto, dejando un costo de inversión acumulado para los períodos siguientes hasta el año 2020 de 81.965.693,3 dólares, de tal manera como se menciona anteriormente la inversión planeada para el período 2016-2018 representará un porcentaje del 45,30% del costo total del proyecto,

presentándose así un margen de flexibilidad en presupuesto para la implementación del grupo de válvulas de control que se ha planteado con el fin de proteger y garantizar el correcto funcionamiento del sistema ante los efectos del fenómeno de golpe de ariete.

**Tabla 32: Calendario de inversión anual del proyecto “Mejoramiento y Ampliación del Sistema Regional de Agua Potable de Esmeraldas y su zona de Influencia”**

COMPONENTES	Total	Inversion Anual USD		
		2014-2015	2016-2018	2019-2020
Importación equipos, tuberías, válvulas	89284685.33	71427748.26	17856937.07	0.00
Obras civiles	57772799.17	3130154.94	50897356.90	3745287.33
Terrenos	2205862.27	2205862.27	0.00	0.00
Puesta en marcha	2941149.69	0.00	0.00	2941149.69
FMA y FMS	441172.45	223673.71	206262.88	11235.86
Fiscalización	7352874.23	3727895.16	3437714.70	187264.37
Supervisión Administración	735287.42	372789.52	343771.47	18726.44
Escalamiento y Reajuste Precios, Ejecución	3970552.08	2013063.39	1856365.94	101122.76
Escalamiento y Reajuste Precios, Fiscalización	735287.42	372789.52	343771.47	18726.44
<b>TOTAL INVERSIONES</b>	<b>165.439.670</b>	<b>83.473.976.76</b>	<b>74.942.180.42</b>	<b>7.023.512.88</b>

Adaptada de (ACSAM Consultores)

Con la finalidad de calcular el valor de incremento por la compra, transporte e instalación de 4 válvulas reductoras de presión en los tramos L3a, L6a, L55 y L58c del sistema de agua potable, se ha hecho uso del análisis de precios unitarios para válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 800mm y 1500mm respectivamente el cual fue proporcionado por la (UGP-E) y se muestra a continuación en las Tablas 32 y 33, de ante mano se espera que la implementación de dichos dispositivos de control y reducción de presión, presente un costo razonable que pueda ser ubicado dentro del presupuesto de reserva para reajuste de costos del período 2016-2018 correspondiente a 1.856.365,94 dólares, dicha adquisición e instalación para efectos de una ejecución realista se espera no supere el 10% de dicho presupuesto de reserva, siendo este el caso dicha propuesta sería conveniente y perfectamente aplicable al proyecto, sin alterar los presupuestos planificados hasta el año 2020 mostrados en la tabla 31, donde se esperaría poder concluir el proyecto respetando el diseño propuesto en los cálculos hidráulicos y a su vez asegurando su protección y correcto desempeño con la implementación de los mecanismos de reducción de presión propuestos anteriormente.

**Tabla 33: Análisis de precios unitarios para válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 800mm**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ITEM:	1083					
CÓDIGO:	500850					
DESCRIPCIÓN:	Transp. e Inst. Válvula Vamex reductora de presión anti ariete, HD, DN 800mm, BB					
UNIDAD:	u					
RENDIM.:	TIEMPO/UNIDAD					
COSTOS DIRECTOS						
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	RENDIM.	TOTAL
102042	Llave Hidráulica	Hora	1.0000	90.00	2.0000	180.00
101999	Herramienta menor	Hora-equip	1.0000	0.30	2.0000	0.60
Subtotal de Equipo:						180.60
MATERIALES						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO		TOTAL
200158	Válvula reductora de presión anti ariete, HD, DN 800mm, BB	u	1.0000	8.345.00		8.345.00
Subtotal de Materiales:						8.345.00
TRANSPORTE						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/U	DISTANCIA	TOTAL
Subtotal de Transporte:						0.00
MANO DE OBRA						
CODIGO	DESCRIPCION		NUMERO	S.R.H.	RENDIM.	TOTAL
455001	Estructura Ocupacional C1 y G1		0.1000	3.02	2.0000	0.60
402004	Estructura Ocupacional E2		4.0000	2.78	2.0000	22.24
403002	Estructura Ocupacional D2		1.0000	2.82	2.0000	5.64
Subtotal de Mano de Obra:						28.48
TOTAL COSTO DIRECTO				8.554.08		
COSTO INDIRECTO				20.00%	1.710.82	
PRECIO UNITARIO TOTAL				10.264.90		

Adaptada de (ACSAM Consultores)

**Tabla 34: Análisis de precios unitarios para válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 1500mm**

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ITEM:	1114					
CÓDIGO:	500870					
DESCRIPCIÓN:	Transp e Inst. Válvula Vamex reductora de presión anti ariete, HD, DN 1500mm, BB					
UNIDAD:	u					
RENDIM.:	TIEMPO/UNIDAD					
COSTOS DIRECTOS						
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	RENDIM.	TOTAL
102042	Llave Hidráulica	Hora	1.0000	90.00	2.0000	180.00
101999	Herramienta menor	Hora-equip	1.0000	0.30	2.0000	0.60
Subtotal de Equipo:						180.60
MATERIALES						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO		TOTAL
200123	Válvula reductora de presión anti ariete, HD, DN 1500mm, BB	u	1.0000	9.986.00		9.986.00
Subtotal de Materiales:						9.986.00
TRANSPORTE						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/U	DISTANCIA	TOTAL
Subtotal de Transporte:						0.00
MANO DE OBRA						
CODIGO	DESCRIPCION		NUMERO	S.R.H.	RENDIM.	TOTAL
455001	Estructura Ocupacional C1 G1		0.1000	3.02	2.0000	0.60
402004	Estructura Ocupacional E2		4.0000	2.78	2.0000	22.24
403002	Estructura Ocupacional D2		1.0000	2.82	2.0000	5.64
Subtotal de Mano de Obra:						28.48
TOTAL COSTO DIRECTO				10.195.08		
COSTO INDIRECTO				20.00%	2.039.02	
PRECIO UNITARIO TOTAL				12.234.10		

Adaptada de (ACSAM Consultores)

Del análisis de precios unitarios mostrado se puede observar que el costo por una unidad reductora de presión con diámetro nominal de 800 y 1500 mm es igual a 8.345,00 y 9.986,00 dólares respectivamente, a este costo se le ha adicionado la tarifa por transporte e instalación en campo del equipo, ascendiendo a un costo total por unidad adquirida e instalada total de **10.264,90** y **12.234,10** dólares.

Establecidos los precios por unidad reductora de presión se presenta en las Tablas 34 y 35, el cálculo del presupuesto total para cuatro unidades reductoras, dos con diámetro nominal de 800 y dos con diámetro nominal de 1500 milímetros, las cuales serán instaladas en los tramos L3a, L6a, L55 y L58c de acuerdo con el análisis para medidas aplicables realizado en 5.2.2.

**Tabla 35: Presupuesto referencial para dos válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 800mm**

PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA VALVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN ANTI ARIETE VAMEX DN 800mm						
ITEM:	1083					
CÓDIGO:	500850					
DESCRIPCIÓN:	Transp. e Inst. Válvula Vamex reductora de presión anti ariete, HD, DN 800mm, BB					
UNIDAD:	u					
RENDIM.:	TIEMPO/UNIDAD					
COSTOS DIRECTOS						
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	RENDIM.	TOTAL
102042	Llave Hidráulica	Hora	2.0000	90.00	2.0000	360.00
101999	Herramienta menor	Hora-equip	2.0000	0.30	2.0000	1.20
Subtotal de Equipo:						361.20
MATERIALES						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO		TOTAL
200158	Válvula reductora de presión anti ariete, HD, DN 800mm, BB	u	2.0000	8.345.00		16.690.00
Subtotal de Materiales:						16.690.00
TRANSPORTE						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/U	DISTANCIA	TOTAL
Subtotal de Transporte:						0.00
MANO DE OBRA						
CODIGO	DESCRIPCION		NUMERO	S.R.H.	RENDIM.	TOTAL
455001	Estructura Ocupacional C1 y G1		0.1000	3.02	2.0000	0.60
402004	Estructura Ocupacional E2		8.0000	2.78	2.0000	44.48
403002	Estructura Ocupacional D2		2.0000	2.82	2.0000	11.28
Subtotal de Mano de Obra:						56.36
TOTAL COSTO DIRECTO						17.107.56
COSTO INDIRECTO 20.00%						3.421.512
PRECIO UNITARIO TOTAL						20.529.072

Adaptada de (ACSAM Consultores)

**Tabla 36: Presupuesto referencial para dos válvulas Vamex de diámetro nominal igual a 1500mm**

PRESUPUESTO REFERENCIAL PARA VALVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN ANTI ARIETE VAMEX DN 1500mm						
ITEM:	1114					
CÓDIGO:	500870					
DESCRIPCIÓN:	Transp e Inst. Válvula Vamex reductora de presión anti ariete, HD, DN 1500mm, BB					
UNIDAD:	u					
RENDIM.:	TIEMPO/UNIDAD					
COSTOS DIRECTOS						
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	RENDIM.	TOTAL
102042	Llave Hidráulica	Hora	2.0000	90.00	2.0000	360.00
101999	Herramienta menor	Hora-equip	2.0000	0.30	2.0000	1.20
Subtotal de Equipo:						361.20
MATERIALES						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO		TOTAL
200123	Válvula reductora de presión anti ariete, HD, DN 1500mm, BB	u	2.0000	9.986,00		19.972,00
Subtotal de Materiales:						19.972,00
TRANSPORTE						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/U	DISTANCIA	TOTAL
Subtotal de Transporte:						0,00
MANO DE OBRA						
CODIGO	DESCRIPCION		NUMERO	S.R.H.	RENDIM.	TOTAL
455001	Estructura Ocupacional C1 G1		0,1000	3,02	2,0000	0,60
402004	Estructura Ocupacional E2		8,0000	2,78	2,0000	44,48
403002	Estructura Ocupacional D2		2,0000	2,82	2,0000	11,28
Subtotal de Mano de Obra:						56,36
TOTAL COSTO DIRECTO						20.389,56
COSTO INDIRECTO 20,00%						4.077,912
PRECIO UNITARIO TOTAL						24.467,472

Adaptada de (ACSAM Consultores)

Como se puede observar en la Tabla 31 el presupuesto referencial de inversiones para el periodo 2016-2018 contempla un gasto de **17.856.937,07** dólares referente a la adquisición e importación restante de equipos, tuberías y válvulas del sistema, dentro de este mismo periodo ha sido destinado un presupuesto correspondiente a 1.856.365,94 dólares para posibles reajustes en precios y ejecución del proyecto, con esta información es factible pensar que en el tiempo que resta del año 2018 se realice la compra e instalación de dichos



elementos reductores de presión, ya que como se muestra en la Tabla 36 el precio de inversión es de **44.996,54** dólares, y contemplando un margen en caso de costos indirectos del 20% del valor total correspondiente a 8.999,30 dólares, el costo total para la compra, transporte e instalación de estos dispositivos asciende a **53.995,85** dólares, valor compatible dentro del presupuesto reservado para reajustes en precios y ejecución del proyecto correspondiente a 1.856.365,94 dólares.

**Tabla 37: Presupuesto Referencial Total -Válvulas Reductororas de Presión**

PRESUPUESTO REFERENCIAL TOTAL						
DESCRIPCIÓN: Sum. e Inst. Válvulas Reductororas de Presión (DN= 2x800 y 2x1500) mm						
UNIDAD: u						
RENDIM.: TIEMPO /UNIDAD						
COSTOS DIRECTOS						
EQUIPO Y HERRAMIENTA						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	RENDIM.	TOTAL
102042	Llave Hidráulica	Hora	4.0000	90,00	2,0000	720,00
101999	Herramienta Menor	Hora-Equipo	4.0000	0,30	2,0000	2,40
Subtotal de Equipo:						722,40
MATERIALES						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	C.indirecto	TOTAL
200158	Valvula reductora de presión anti ariete,HD,DN 800 mm , BB	u	2,0000	8.345,00	3.421,5120	20.111,51
200123	Valvula reductora de presión anti ariete,HD,DN 1500 mm , BB	u	2,0000	9.986,00	4.077,9120	24.049,91
Subtotal de Materiales:						44.161,42
TRANSPORTE						
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA/U	DISTANCIA	TOTAL
Subtotal de Transporte:						%IND
MANO DE OBRA						
CODIGO	DESCRIPCION	NUMERO	S.R.H.	RENDIM.	TOTAL	
455001	Estructura Ocupacional C1 y G1	0,2	3,02	2,0	1,208	
402004	Estructura Ocupacional E2	16	2,78	2,0	88,96	
403002	Estructura Ocupacional D2	4,00	2,82	2,0	22,56	
Subtotal de Mano de Obra:						112,73
TOTAL COSTO DIRECTO						44.996,55
COSTO INDIRECTO 20.00%						8.999,31
PRECIO TOTAL						53.995,86

Adaptada de (ACSAM Consultores)



Como se había esperado el costo por la adquisición e implementación del grupo de válvulas reductoras de presión representa el 2,9% del presupuesto para reajuste y modificación de costos del periodo de ejecución para los años 2016-2018.

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

El estudio y análisis de la red de conducción bajo el régimen transitorio o no permanente permitió la modelación de los escenarios más adversos a los que podría estar sometido el sistema, destacándose de entre estos el cierre rápido de válvulas de regulación y la posible rotura de tubería en un tramo determinado del modelo hidráulico, mostrándose la problemática que implica el incremento de presiones y la perturbación del régimen permanente en un sistema de agua potable de grandes dimensiones.

La simulación efectuada para el escenario 2.1 muestra que la ejecución de una maniobra de cierre correspondiente a 25 segundos en las válvulas de regulación de los tanques: Winchele, Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria, puede llegar a generar transitorios significativos con valores máximos de 184,57 m.c.a en los tramos ubicados en las abscisas 5+396 y 12+905 m, esta sobre presión es superior en casi un 12% al valor de presión piezométrica que se tiene en ese mismo punto, esta condición indica un posible riesgo de falla en la tubería a largo plazo por efectos de fatiga.

De acuerdo con los resultados obtenidos en las simulaciones del escenario 3.1 para la rotura de tubería, el tramo “L11B” mostró el comportamiento más relevante respecto a variaciones de presión por golpe de ariete, alcanzado valores de sobre presión superiores hasta en un 13% respecto de la envolvente de presión piezométrica, sin embargo este escenario fue descartado como el más crítico, debido a su baja probabilidad de ocurrencia debido a que en este análisis lo que se busca es evitar justamente una falla o rotura por fatiga, por lo tanto en su lugar el escenario 2.1 ha sido tomado en cuenta como el más crítico, ya que este se encuentra presente en casi todas las maniobras rutinarias de operación y mantenimiento de un sistema de agua potable.

De los valores de presión calculados en los escenarios para cierre de válvulas, se pudo observar un comportamiento decreciente, marcado por una reducción de aproximadamente el 3% de la presión máxima por golpe de ariete cada 5 segundos de demora en las

maniobras de cierre, esto permite incluir dentro de las medidas de atenuación aplicables la posibilidad de implementar maniobras con tiempos de cierre mayores o iguales a 60 segundos, las cuales permitirán una correcta disipación de energía y evitarán daños en los componentes del sistema durante su operación y mantenimiento.

La verificación de los espesores de diseño haciendo uso del incremento de presión por golpe de ariete calculado en el software ALLIEVI, reflejó una insuficiencia en su capacidad mecánica para resistir ciclos de presión a lo largo de su vida útil en los tramos ubicados en las abscisas 5+396 y 12+905, esta situación sugiere que el sistema puede llegar a ser susceptible frente a ciclos de fatiga a lo largo de su vida útil, y por ende es recomendable la implementación de dispositivos reductores de presión.

La posibilidad de un cambio parcial o total de tubería en los tramos que han mostrado cierto grado de vulnerabilidad a los efectos de golpe de ariete debido a la insuficiencia de un espesor capaz de soportar los incrementos y ciclos de presión a largo plazo que este fenómeno causa carece de sentido, ya que es necesario tomar en cuenta que la mayoría de equipos, tubería y accesorios fue comprada a inicios del año 2015, por lo tanto basándose en las simulaciones realizadas se planteó una medida realista orientada hacia un aspecto técnico y económico, dónde la implementación de 4 válvulas reductoras de presión representa una medida viable capaz de reducir los valores de máximos de presión obtenidos en el escenario 2.1 correspondientes a 184 m.c.a, hasta rangos inferiores a los obtenidos en la envolvente de presión piezométrica máxima, correspondientes a 166,31 m.c.a adicionalmente se obtuvo una reducción de los efectos de sobre presión en los nudos más esforzados del sistema en casi un 19% alcanzando valores de oscilación normales de 150,053 m.c.a.

El sistema de agua potable para la provincia de Esmeraldas no fallará por golpe de ariete de manera violenta al momento de presentarse cualquiera de las solicitudes mostradas en las simulaciones realizadas dentro de este análisis, sin embargo si no se llegan a implementar las medidas de mitigación recomendadas en este trabajo o cualquier otro tipo de medida realista, el sistema podría verse deteriorado en poco tiempo a medida que los ciclos de presión se vuelvan más frecuentes causando daños por fatiga en los componentes del sistema, dejándolo predispuesto a un futuras fallas en sus tramos.

## **6.2 Recomendaciones**

Para un correcto modelado del sistema de distribución en ALLIEVI es recomendable usar como estructura base un archivo de Epanet o AutoCad previamente cargado con todas las características topográficas y estructurales del proyecto, ya que al ser un software de análisis su interfaz de trazado y dibujo es básica.

Basándose en los resultados y comportamiento obtenidos para la simulación de los escenarios 2.1 y 2.2 es recomendable realizar una capacitación del personal de operación y mantenimiento en la cual se oriente a la ejecución de maniobras de cierre lentas con tiempos mayores o iguales a 60 segundos con el fin de mitigar en lo posible cualquier efecto transitorio generado en la red de agua potable.

Con el fin de acercar el comportamiento de las válvulas reductoras de presión lo más posible al mostrado en las simulaciones obtenidas en ALLIEVI, es recomendable realizar una calibración in-situ al momento de su instalación, ajustando su velocidad de reacción y su presión de control si es que es posible.

Como medida de atenuación se ha recomendado la implementación de válvulas reductoras de presión, sin embargo, con el fin de obtener los mejores resultados se podría combinar estos dispositivos de control conjuntamente con maniobras de cierre lento, permitiendo que la energía de presión por golpe de ariete se disipe de una mejor manera, sin causar daños ni desgaste de los elementos que conforman la red de agua potable.

Se recomienda que, de realizar la compra de válvulas reductoras de presión, estas sean incluidas dentro del presupuesto de reserva para reajuste de precios y ejecución del proyecto, el cual es correspondiente a 1.856.365,94 dólares, y cuya adquisición e instalación representa el 2,9% en dicho presupuesto de costos, correspondiente al periodo de ejecución para los años 2016-2018.

## REFERENCIAS

1. Abreu, J. (2003). *Transitorios y Oscilaciones en Sistemas Hidráulicos a Presión*. Valencia: Sichert.
2. ACSAM Consultores. (2015). *Estudios de Evaluación, Factibilidad y Diseños Definitivos del Sistema Regional de Agua Potable Esmeraldas*. Obtenido de Banco de Desarrollo del Ecuador B.P.: <http://www.bde.fin.ec/sites/default/files/BDE2015/LICESMERALDAS/2%20Memoria%20Disen%CC%83o%20Definitivo.pdf>
3. ACSAM Consultores. (s.f.). Diseño hidráulico de la red de agua potable para la Provincia de Esmeraldas.
4. ACSAM Consultores. (s.f.). Memoria Técnica Presupuestos.
5. Allievi. (s.f.). *Manual técnico Allievi*. Obtenido de <http://www.allievi.net/allievi-es.php>
6. American Water Works Association - AWWA. (2004). *Steel Water Pipe: A Guide for Desing and Installation*. Denver, Colorado, United States of America: AWWA.
7. ASME Boiler and Pressure Vessel. (1 de julio de 2015). *Code An International Code, Section III, inciso NC-3219.2.1*. New York, NY, United States of America: The American Society of Mechanical Engineers. Obtenido de <http://allaboutmetallurgy.com/wp/wp-content/uploads/2017/06/ASME/Sec%20III-NC.pdf>
8. Bautista Castillo, C. (13 de octubre de 2015). *Mecanismos hidrahulicos*. Obtenido de Slide Share: <https://es.slideshare.net/cristianbautistacastillo/mecanismos-hidrahulicos>
9. Ductile Iron Society. (s.f.). *Ductile iron data for design engineers*. Obtenido de <http://www.ductile.org/didata/Section3/3part2.htm>
10. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. (s.f.). *El golpe de ariete*. Obtenido de Universidad Castilla de la Mancha: [https://previa.uclm.es/area/ing\\_rural/Hidraulica/Temas/Tema11.pdf](https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Hidraulica/Temas/Tema11.pdf)
11. Eurostop. (2011). *Válvula de mariposa - Eurostop BB JPA*. Madrid, España: Saint-Gobain Pam España, S.A.
12. Instituto Geográfico Militar Ecuador. (2016). *Descargas información geográfica Sismo -2016 Ecuador*. Obtenido de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/sismo-2016/>
13. ITA. (2016). ALLIEVI V 2.2.0.0.

14. Lorencholll. (3 de mayo de 2010). *Hidraulica*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/lorencholll/hidraulica>
15. Ortiz Masek, G. A. (agosto de 2006). El golpe de ariete en sistemas de abastecimiento de agua potable. *Tesis de grado*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2611\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2611_C.pdf)
16. Pérez Farrás, L. E. (s.f.). *Estudio de transitorios: golpe de ariete*.
17. Topographic-Map. (2017). *Mapa Topográfico de la Provincia de Esmeraldas*. Obtenido de <http://es-ec.topographic-map.com/places/Esmeraldas-744659/>
18. Useche, A. (15 de febrero de 2013). *Golpe de ariete*. Obtenido de Ingeniería Civil: <http://ingenieriacyil2013.blogspot.com/2013/02/golpe-de-ariete.html>
19. Vamex. (2017-2018). *Catalogo Valvulas*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/375725685/Catalogo-Valvulas-Vamex>

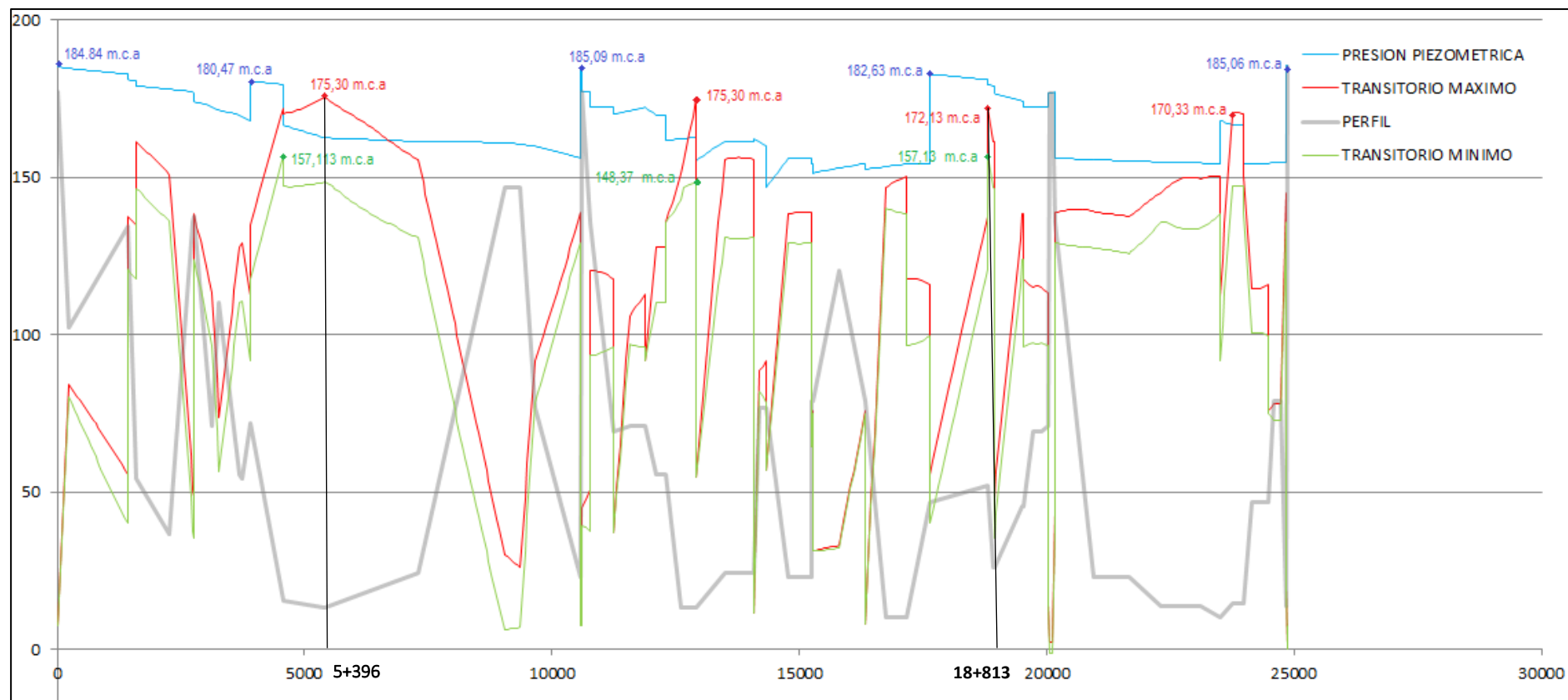
# **ANEXOS**

## **Anexo 1:**

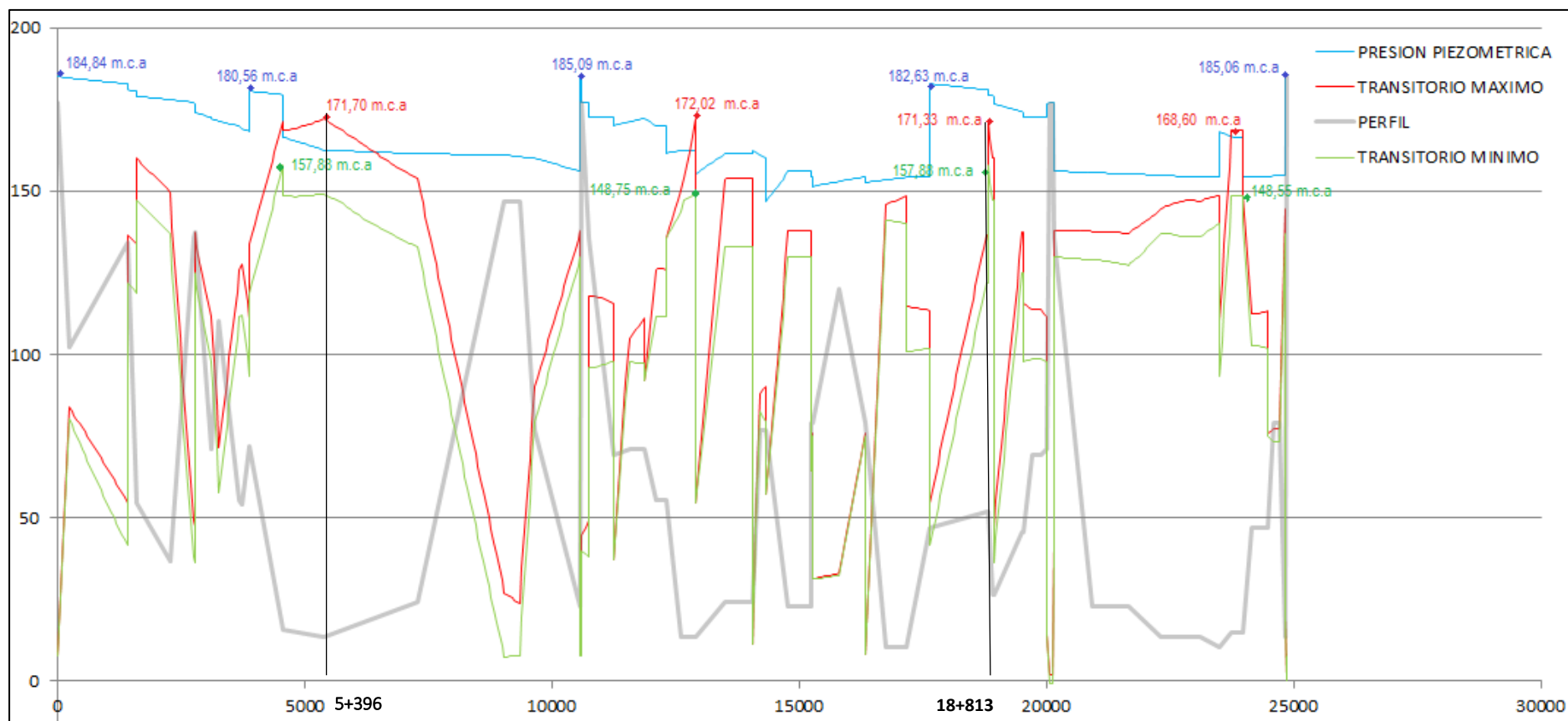
### **Simulación para otros tiempos de cierre**

A continuación, se muestran los resultados y envolventes correspondientes a los escenarios complementarios para tiempos de cierre de: 35, 40, 50, 60, 120, 180 y 300 segundos.

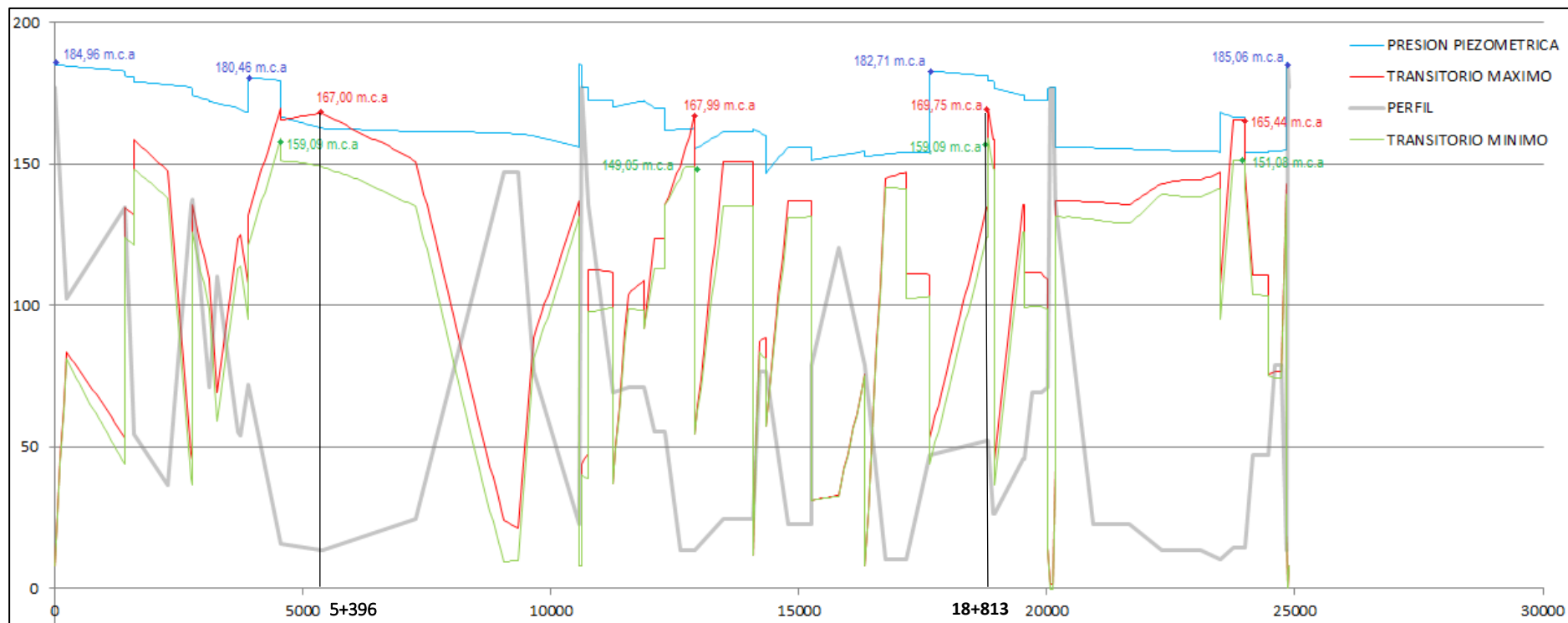




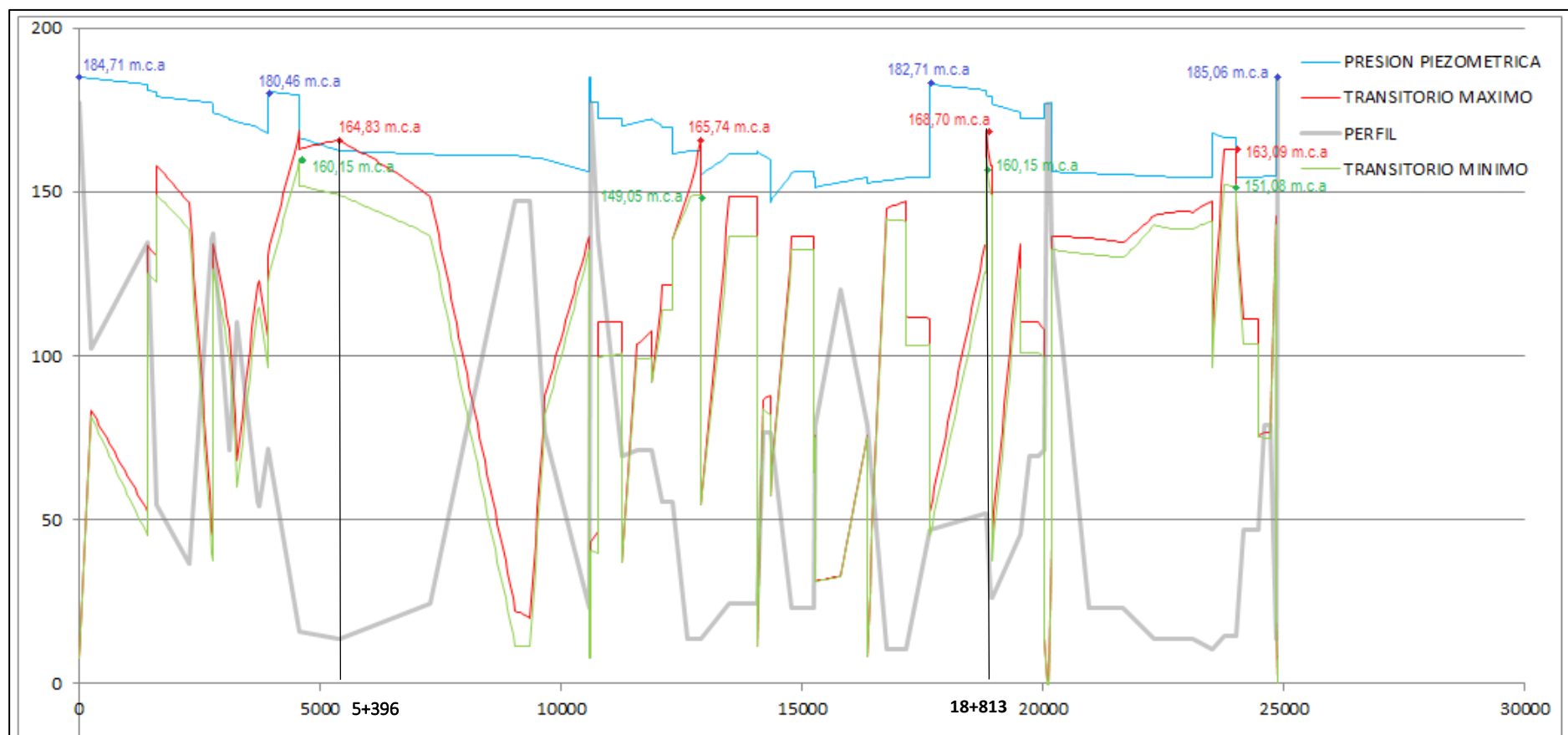
**Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 35 segundos de la línea de conducción "T.Carga-T.Chone"**



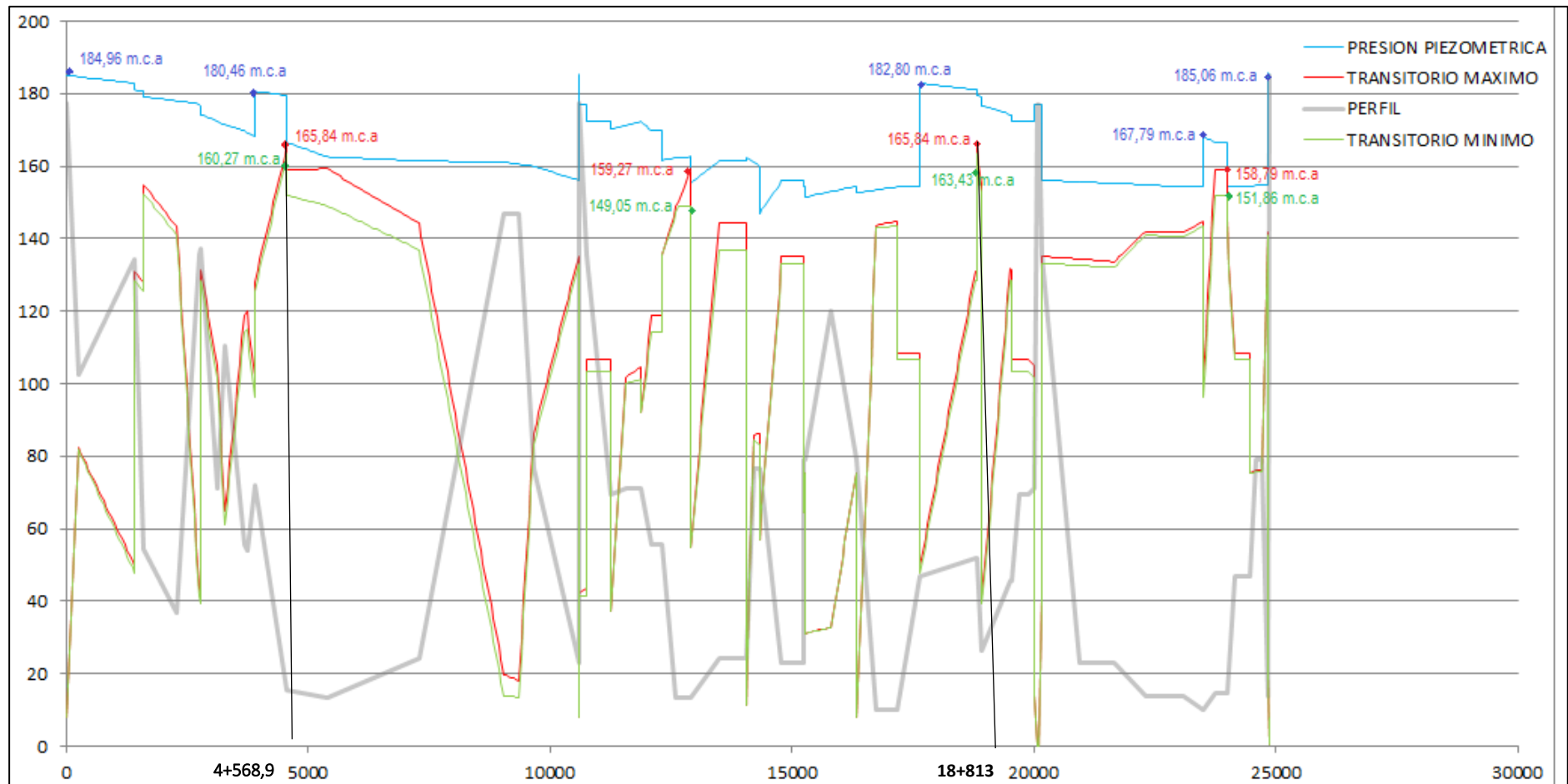
**Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 40 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**



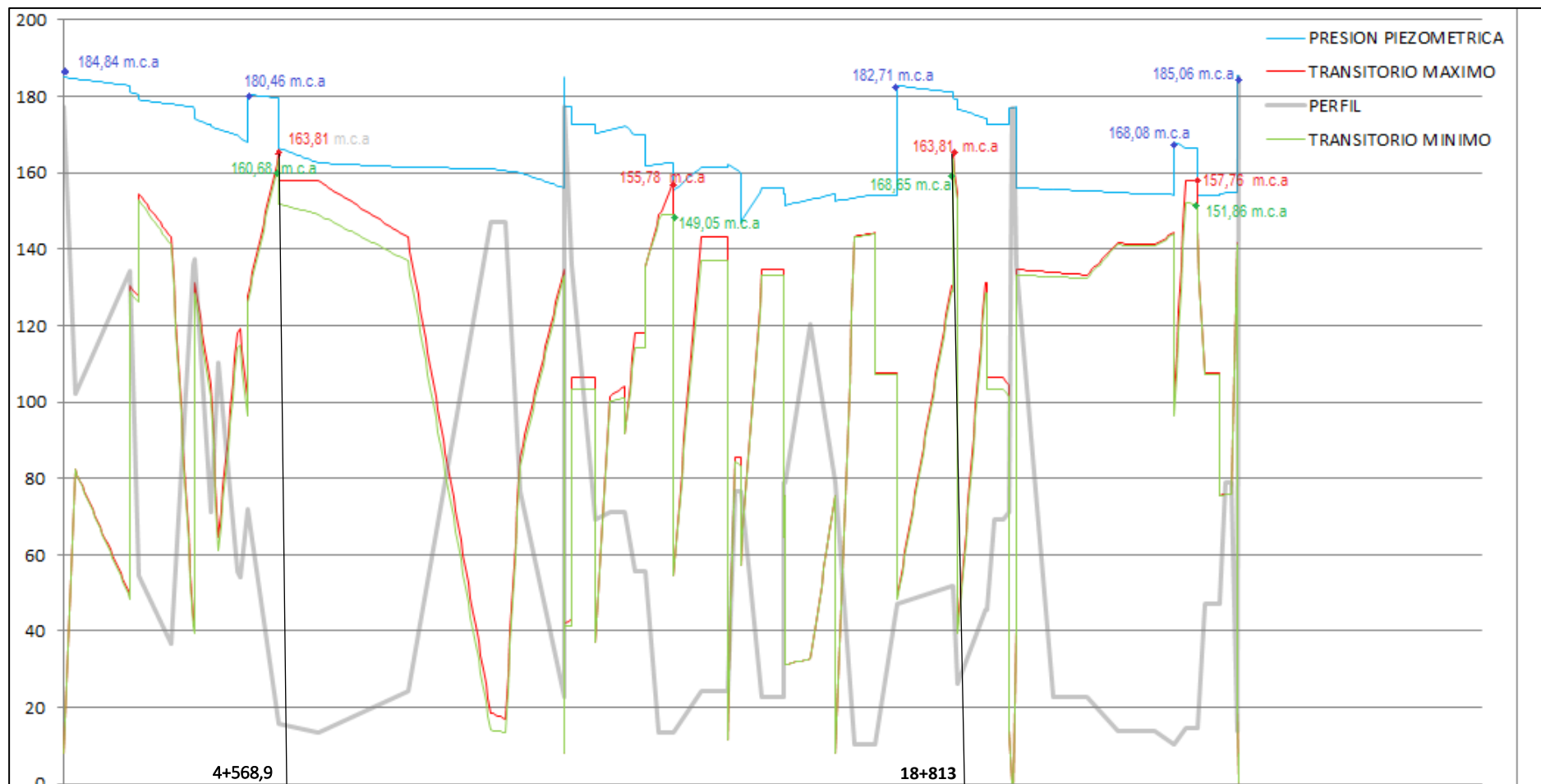
**Envoltentes de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 50 segundos de la línea de conducción "T.Carga-T.Chone"**



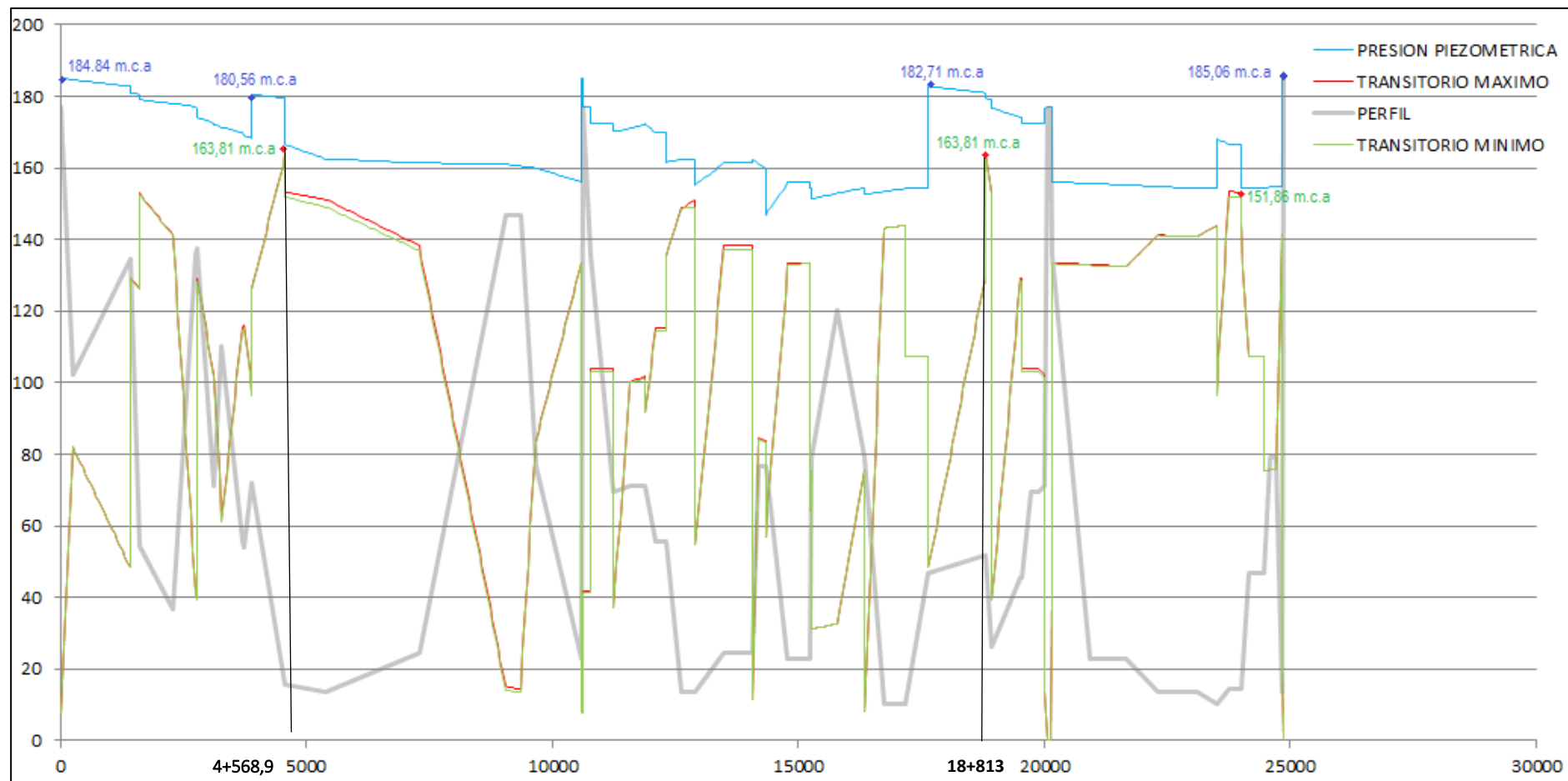
**Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 60 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**



**Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 120 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”**



Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 180 segundos de la línea de conducción “T.Carga-T.Chone”



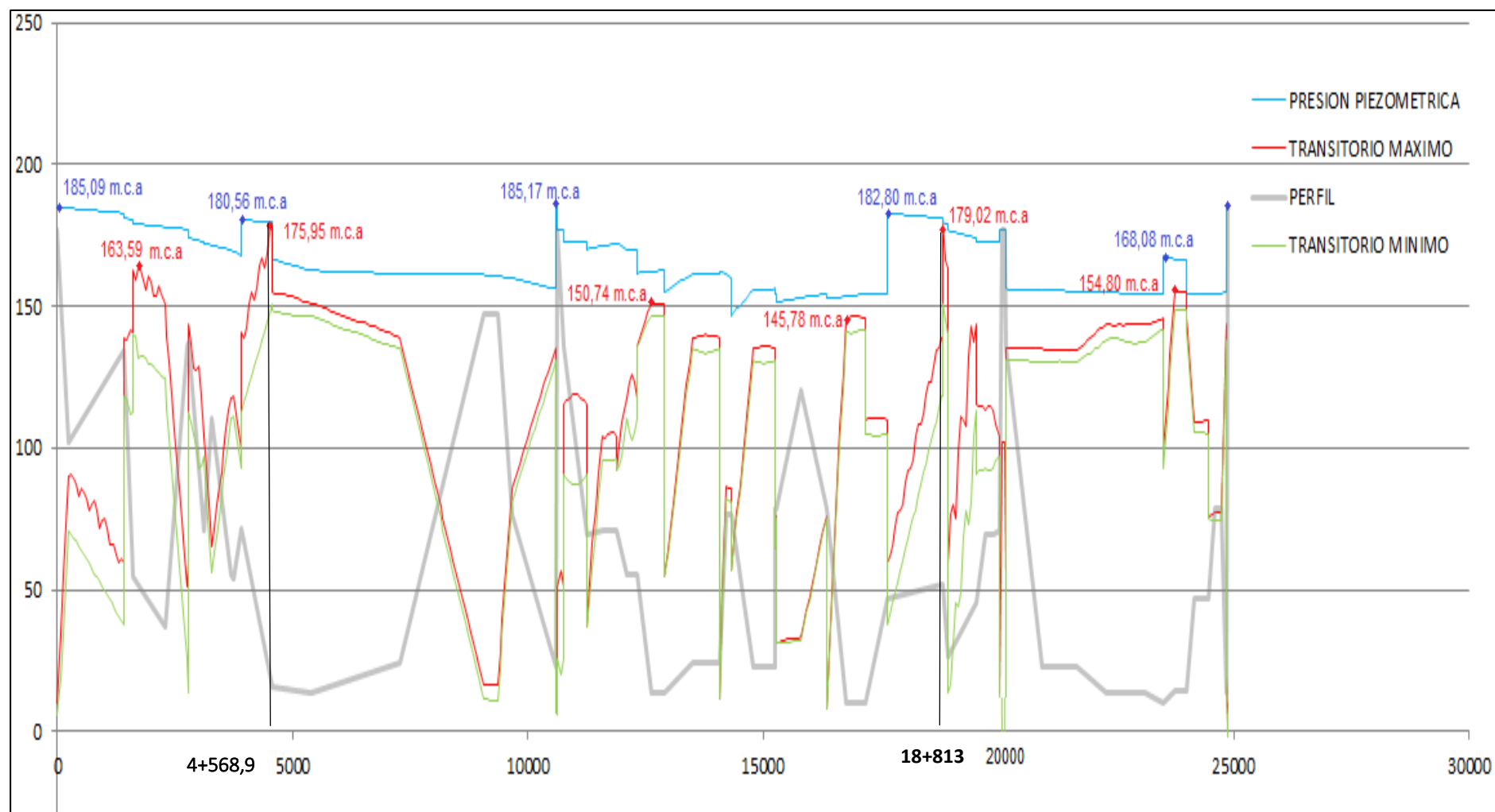
**Envolturas de presión para Régimen Transitorio con tiempo de cierre de 300 segundos de la línea de conducción "T.Carga-T.Chone"**

## **Anexo 2:**

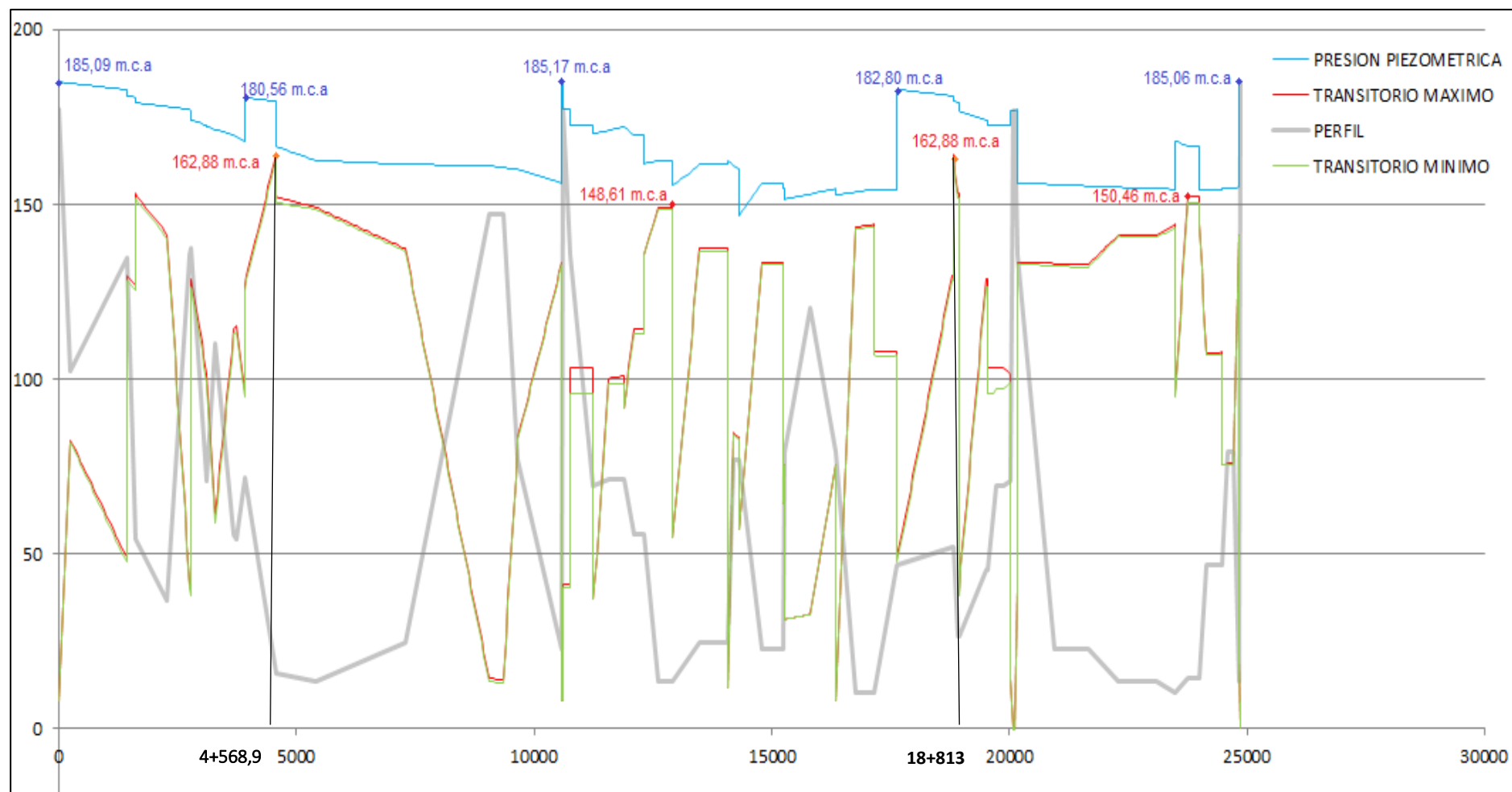
### **Simulación para escenarios de rotura**

A continuación se muestran los resultados y envolventes correspondientes a los escenarios de rotura para los tanques de: Winchele, Petro Ecuador, Refinería, Sta. Cruz y Autoridad Portuaria.

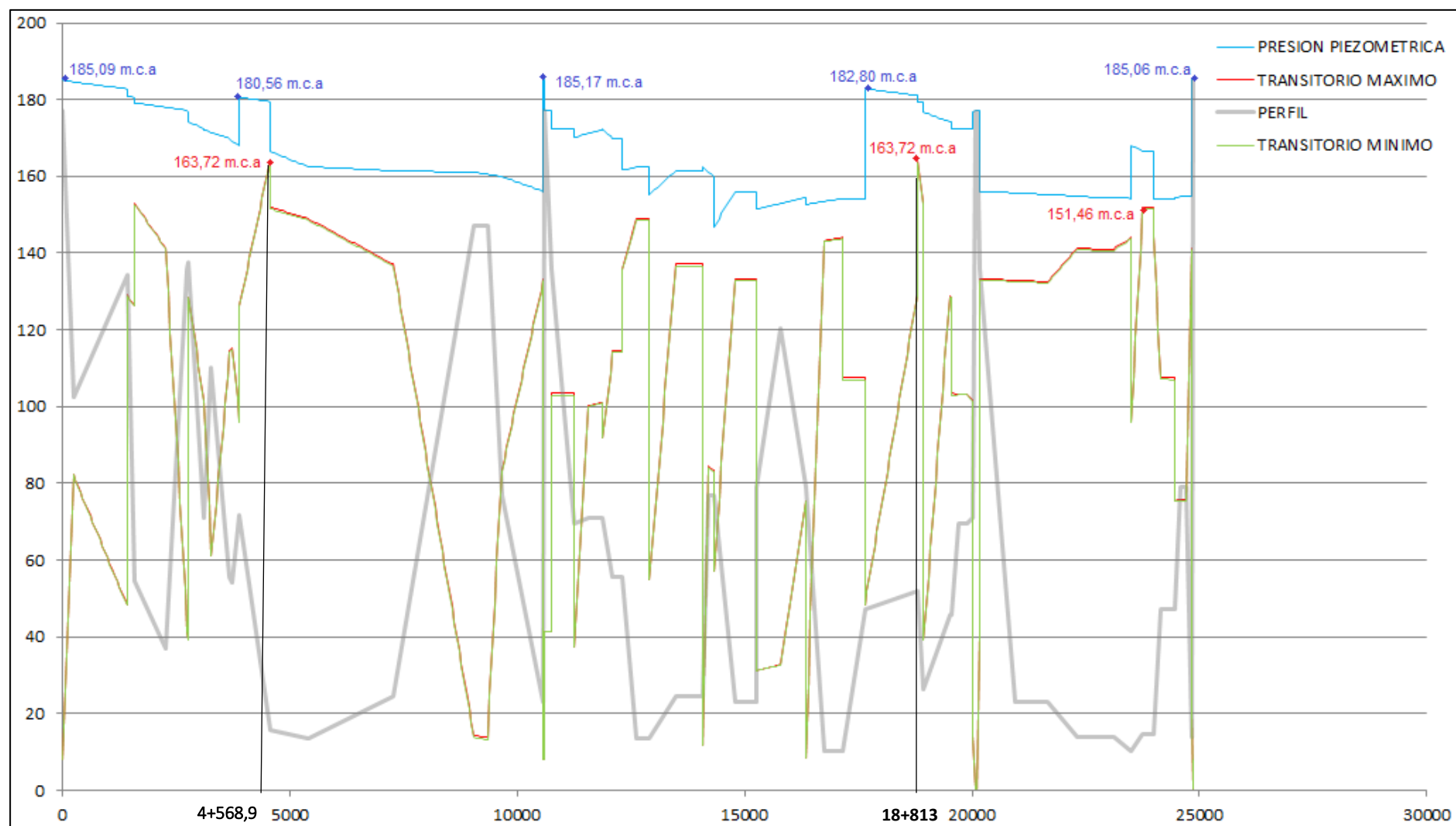




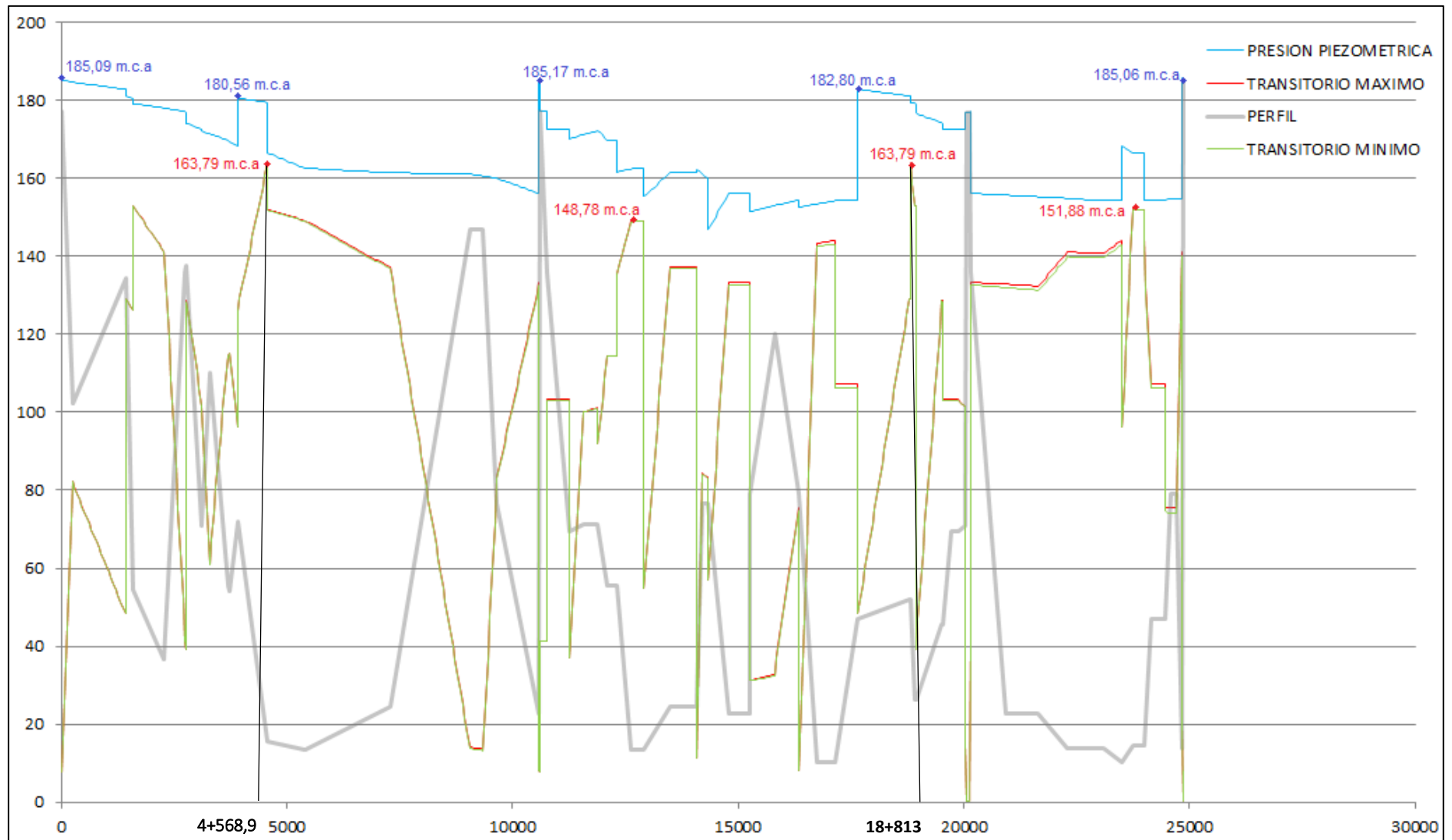
**Envoltentes de presión para rotura de tubería en el tramo Winchele del sistema regional de agua potable de Esmeraldas**



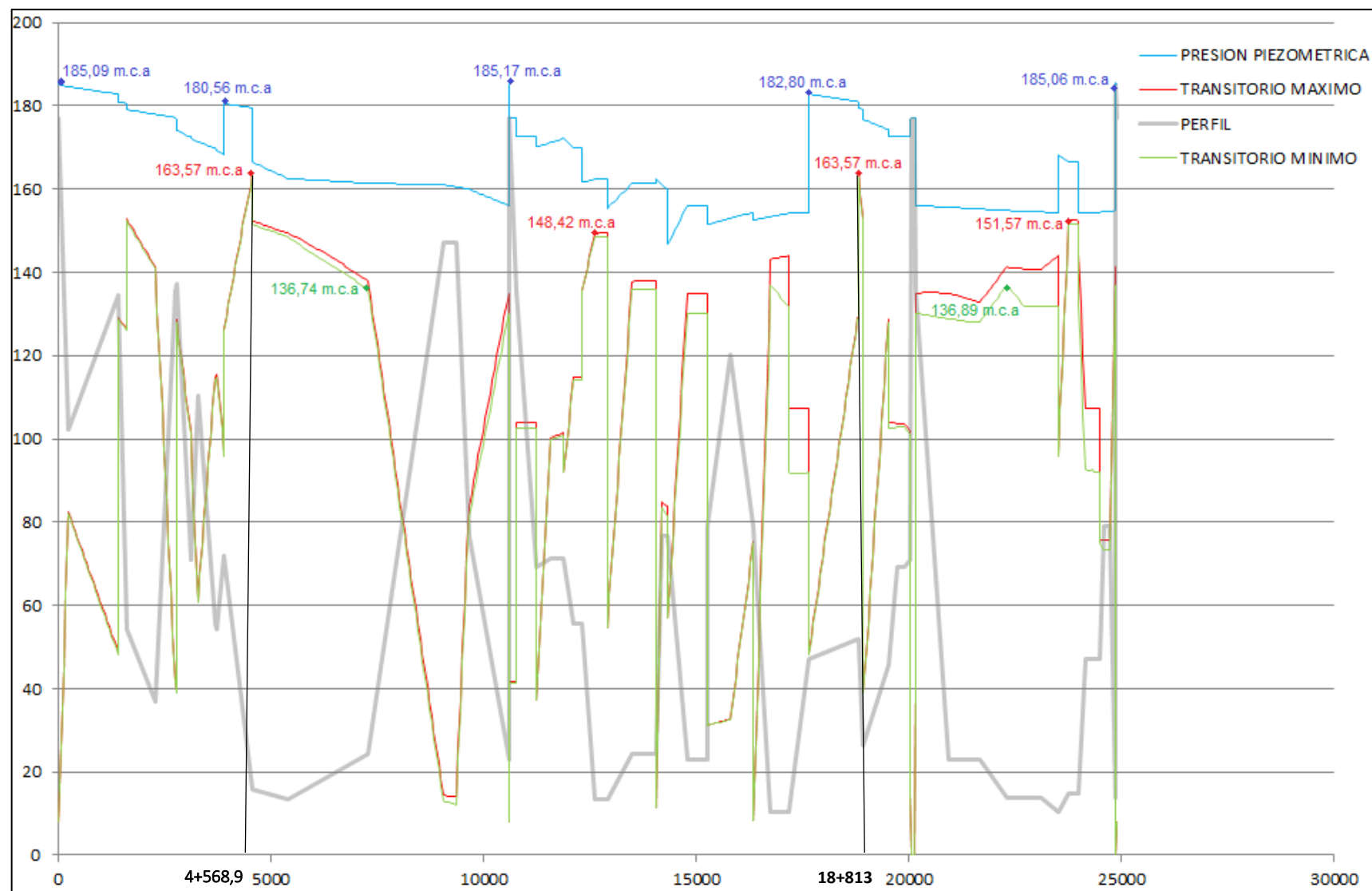
**Envolventes de presión para rotura de tubería en el tramo Petro Ecuador del sistema regional de agua potable de Esmeraldas**



**Envoltentes de presión para rotura de tubería en el tramo Refinería del sistema regional de agua potable de Esmeraldas**



**Envoltentes de presión para rotura de tubería en el tramo Sta. Cruz del sistema regional de agua potable de Esmeraldas**



Envolturas de presión para rotura de tubería en el tramo Autoridad Portuaria del sistema regional de agua potable de Esmeraldas

### **Anexo 3:**

## **Verificación de espesores de tubería del sistema de agua potable para la provincia de esmeraldas bajo efectos de golpe de ariete**

A continuación se muestran las tablas correspondientes a la verificación de los espesores de tubería, tomando en cuenta los incrementos de presión obtenidos bajo los efectos del golpe de ariete generado por el cierre de válvulas en un tiempo de 25 segundos.



Diámetro	Abscisa	Carga	Presion Flujo No Permanente	Presión	Esf admis	Espesor Cal	Espesor Cal	Espesor manip	Espesor manip	Espesor trab*
mm		m	m	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	pulg	mm	pulg	mm	mm
1500	6585,0	161,8	141,5	14,15	37500	0,16	4,02	0,25	6,35	8,00
1200	6639,0	161,8	141,1	14,11	37500	0,13	3,21	0,25	6,35	8,00
1200	6693,0	161,8	140,8	14,08	37500	0,13	3,20	0,25	6,35	8,00
1200	7500,5	161,4	122,1	12,21	37500	0,11	2,78	0,25	6,35	8,00
1200	7553,8	161,3	118,4	11,84	37500	0,11	2,69	0,25	6,35	8,00
1200	7660,5	161,3	110,9	11,09	37500	0,10	2,52	0,25	6,35	8,00
1200	7713,9	161,3	107,2	10,72	37500	0,10	2,44	0,25	6,35	8,00
1200	8034,1	161,2	84,8	8,48	37500	0,08	1,93	0,25	6,35	8,00
1200	8087,5	161,2	81,1	8,11	37500	0,07	1,85	0,25	6,35	8,00
1200	8140,8	161,2	77,4	7,74	37500	0,07	1,76	0,25	6,35	8,00
1200	8194,2	161,2	73,7	7,37	37500	0,07	1,68	0,25	6,35	8,00
1200	8567,7	161,1	47,6	4,76	37500	0,04	1,08	0,25	6,35	8,00
1200	8621,1	161,1	43,9	4,39	37500	0,04	1,00	0,25	6,35	8,00
1200	8781,2	161,1	32,7	3,27	37500	0,03	0,74	0,25	6,35	8,00
1200	8834,5	161,1	28,9	2,89	37500	0,03	0,66	0,25	6,35	8,00
1200	8887,9	161,1	25,2	2,52	37500	0,02	0,57	0,25	6,35	8,00
1200	8941,3	161,1	21,5	2,15	37500	0,02	0,49	0,25	6,35	8,00
1200	8994,6	161,0	17,8	1,78	37500	0,02	0,40	0,25	6,35	8,00
1200	9048,0	161,0	14,0	1,40	37500	0,01	0,32	0,25	6,35	8,00
1200	9048,0	161,0	14,0	1,40	37500	0,01	0,32	0,25	6,35	8,00
1200	9098,2	161,0	14,0	1,40	37500	0,01	0,32	0,25	6,35	8,00
1200	9148,3	160,9	13,9	1,39	37500	0,01	0,32	0,25	6,35	8,00
1200	9198,5	160,8	13,8	1,38	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	9248,7	160,7	13,7	1,37	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	9298,8	160,6	13,6	1,36	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	9349,0	160,5	13,5	1,35	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	9349,0	160,5	13,5	1,35	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	9401,0	160,4	25,1	2,51	37500	0,02	0,57	0,25	6,35	8,00
1200	9453,0	160,3	36,7	3,67	37500	0,03	0,84	0,25	6,35	8,00
1200	9505,0	160,2	48,4	4,84	37500	0,04	1,10	0,25	6,35	8,00
1200	9557,0	160,2	60,0	6,00	37500	0,05	1,36	0,25	6,35	8,00
800	9609,0	160,1	71,6	7,16	37500	0,04	1,09	0,25	6,35	8,00
800	9661,0	160,0	83,2	8,32	37500	0,05	1,26	0,25	6,35	8,00
800	9661,0	160,0	83,2	8,32	37500	0,05	1,26	0,25	6,35	8,00
800	9715,4	159,7	86,1	8,61	37500	0,05	1,31	0,25	6,35	8,00
800	9769,7	159,5	89,1	8,91	37500	0,05	1,35	0,25	6,35	8,00
800	9824,1	159,3	92,0	9,20	37500	0,05	1,40	0,25	6,35	8,00
800	9878,4	159,1	95,0	9,50	37500	0,06	1,44	0,25	6,35	8,00
800	9932,8	158,8	97,9	9,79	37500	0,06	1,49	0,25	6,35	8,00
800	9987,1	158,6	100,8	10,08	37500	0,06	1,53	0,25	6,35	8,00
800	10041,5	158,4	103,8	10,38	37500	0,06	1,57	0,25	6,35	8,00
800	10095,8	158,1	106,7	10,67	37500	0,06	1,62	0,25	6,35	8,00
600	10150,2	157,9	109,7	10,97	37500	0,05	1,25	0,25	6,35	8,00
600	10204,5	157,7	112,6	11,26	37500	0,05	1,28	0,25	6,35	8,00
600	10258,9	157,5	115,5	11,55	37500	0,05	1,31	0,25	6,35	8,00
600	10313,2	157,2	118,5	11,85	37500	0,05	1,35	0,25	6,35	8,00
600	10367,6	157,0	121,4	12,14	37500	0,05	1,38	0,25	6,35	8,00
600	10421,9	156,8	124,4	12,44	37500	0,06	1,42	0,25	6,35	8,00
600	10476,3	156,5	127,3	12,73	37500	0,06	1,45	0,25	6,35	8,00
600	10530,6	156,3	130,3	13,03	37500	0,06	1,48	0,25	6,35	8,00
600	10585,0	156,1	133,2	13,32	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
600	10585,0	185,2	8,0	0,80	37500	0,00	0,09	0,25	6,35	8,00
600	10615,0	185,1	7,9	0,79	37500	0,00	0,09	0,25	6,35	8,00
600	10615,0	177,2	41,4	4,14	37500	0,02	0,47	0,25	6,35	8,00
600	10689,0	177,2	41,4	4,14	37500	0,02	0,47	0,25	6,35	8,00
500	10763,0	177,2	41,4	4,14	37500	0,02	0,39	0,25	6,35	8,00
500	10763,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	10823,3	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	10883,5	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	10943,8	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	11004,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	11064,3	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	11124,5	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
500	11184,8	172,5	103,2	10,32	37500	0,04	0,98	0,25	6,35	8,00
600	11245,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,05	1,17	0,25	6,35	8,00
600	11245,0	170,1	37,1	3,71	37500	0,02	0,42	0,25	6,35	8,00
600	11309,2	170,3	49,7	4,97	37500	0,02	0,57	0,25	6,35	8,00
600	11373,4	170,5	62,3	6,23	37500	0,03	0,71	0,25	6,35	8,00
600	11437,6	170,7	74,9	7,49	37500	0,03	0,85	0,25	6,35	8,00
800	11501,8	170,9	87,5	8,75	37500	0,05	1,33	0,25	6,35	8,00
800	11566,0	171,1	100,0	10,00	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00



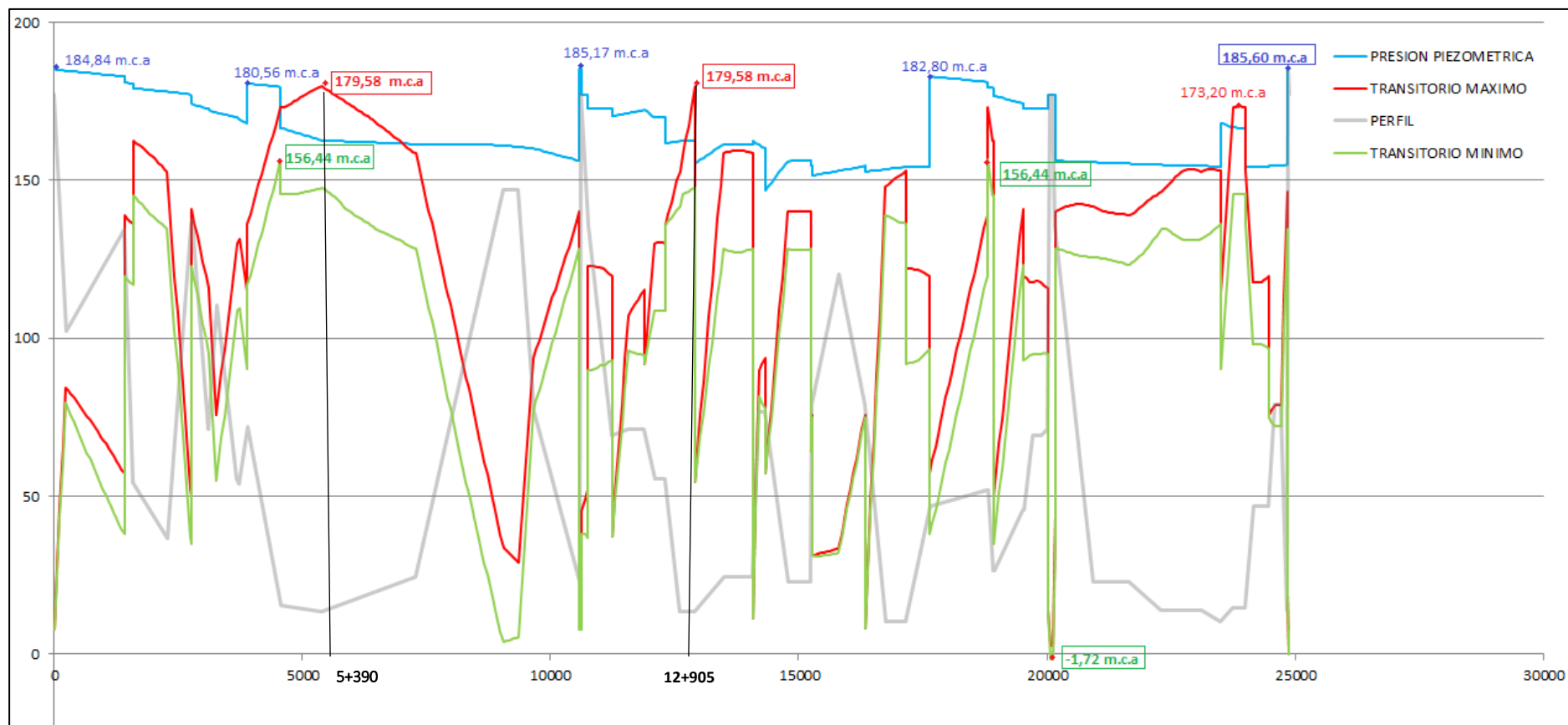
Diámetro	Abscisa	Carga	Presion Flujo No Permanente	Presión	Esf admis	Espesor Cal	Espesor Cal	Espesor manip	Espesor manip	Espesor trab*
mm		m	m	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	pulg	mm	pulg	mm	mm
800	11566,0	171,1	100,0	10,00	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
800	11630,2	171,4	100,3	10,03	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
800	11694,4	171,6	100,5	10,05	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
800	11758,6	171,8	100,7	10,07	37500	0,06	1,53	0,25	6,35	8,00
800	11822,8	172,0	100,9	10,09	37500	0,06	1,53	0,25	6,35	8,00
800	11887,0	172,2	101,1	10,11	37500	0,06	1,53	0,25	6,35	8,00
800	11887,0	172,3	91,9	9,19	37500	0,05	1,39	0,25	6,35	8,00
1200	11939,9	171,7	97,5	9,75	37500	0,09	2,22	0,25	6,35	8,00
1200	11992,8	171,1	103,1	10,31	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	12045,6	170,5	108,7	10,87	37500	0,10	2,47	0,25	6,35	8,00
1200	12098,5	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12098,5	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12151,4	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12204,3	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12257,1	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12310,0	169,8	114,3	11,43	37500	0,10	2,60	0,25	6,35	8,00
1200	12310,0	161,6	135,6	13,56	37500	0,12	3,09	0,25	6,35	8,00
1200	12369,5	161,8	138,3	13,83	37500	0,12	3,15	0,25	6,35	8,00
1200	12429,0	161,9	140,9	14,09	37500	0,13	3,21	0,25	6,35	8,00
1200	12488,5	162,1	143,6	14,36	37500	0,13	3,27	0,25	6,35	8,00
1200	12548,0	162,2	146,2	14,62	37500	0,13	3,33	0,25	6,35	8,00
1200	12607,5	162,3	148,9	14,89	37500	0,13	3,39	0,25	6,35	8,00
800	12607,5	162,3	148,9	14,89	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12667,0	162,4	148,9	14,89	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12726,5	162,4	148,9	14,89	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12786,0	162,5	149,0	14,90	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12845,5	162,5	149,0	14,90	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12905,0	162,5	149,1	14,91	37500	0,09	2,26	0,25	6,35	8,00
800	12905,0	155,3	54,7	5,47	37500	0,03	0,83	0,25	6,35	8,00
800	12963,3	155,9	62,9	6,29	37500	0,04	0,95	0,25	6,35	8,00
600	13021,5	156,5	71,2	7,12	37500	0,03	0,81	0,25	6,35	8,00
600	13079,8	157,1	79,4	7,94	37500	0,04	0,90	0,25	6,35	8,00
600	13138,0	157,7	87,6	8,76	37500	0,04	1,00	0,25	6,35	8,00
600	13196,3	158,3	95,8	9,58	37500	0,04	1,09	0,25	6,35	8,00
600	13254,5	158,9	104,1	10,41	37500	0,05	1,18	0,25	6,35	8,00
600	13312,8	159,6	112,3	11,23	37500	0,05	1,28	0,25	6,35	8,00
600	13371,0	160,2	120,5	12,05	37500	0,05	1,37	0,25	6,35	8,00
600	13429,3	160,8	128,7	12,87	37500	0,06	1,46	0,25	6,35	8,00
600	13487,5	161,4	137,0	13,70	37500	0,06	1,56	0,25	6,35	8,00
600	13487,5	161,4	137,0	13,70	37500	0,06	1,56	0,25	6,35	8,00
600	13545,8	161,4	137,0	13,70	37500	0,06	1,56	0,25	6,35	8,00
600	13604,0	161,4	137,0	13,70	37500	0,06	1,56	0,25	6,35	8,00
500	13662,3	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	13720,5	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	13778,8	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	13837,0	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	13895,3	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	13953,5	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	14011,8	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	14070,0	161,4	137,0	13,70	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
500	14070,0	162,4	11,5	1,15	37500	0,00	0,11	0,25	6,35	8,00
500	14134,5	161,8	47,9	4,79	37500	0,02	0,45	0,25	6,35	8,00
500	14199,0	161,2	84,4	8,44	37500	0,03	0,80	0,25	6,35	8,00
500	14199,0	161,2	84,4	8,44	37500	0,03	0,80	0,25	6,35	8,00
500	14263,5	160,6	83,8	8,38	37500	0,03	0,79	0,25	6,35	8,00
500	14328,0	160,0	83,2	8,32	37500	0,03	0,79	0,25	6,35	8,00
500	14328,0	146,8	57,1	5,71	37500	0,02	0,54	0,25	6,35	8,00
500	14385,4	147,9	66,6	6,66	37500	0,02	0,63	0,25	6,35	8,00
600	14442,8	149,1	76,1	7,61	37500	0,03	0,87	0,25	6,35	8,00
600	14500,1	150,2	85,6	8,56	37500	0,04	0,97	0,25	6,35	8,00
600	14557,5	151,4	95,1	9,51	37500	0,04	1,08	0,25	6,35	8,00
600	14614,9	152,5	104,6	10,46	37500	0,05	1,19	0,25	6,35	8,00
600	14672,3	153,7	114,1	11,41	37500	0,05	1,30	0,25	6,35	8,00
600	14729,6	154,8	123,6	12,36	37500	0,06	1,41	0,25	6,35	8,00
600	14787,0	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,51	0,25	6,35	8,00
600	14787,0	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,51	0,25	6,35	8,00
600	14844,4	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,51	0,25	6,35	8,00
600	14901,8	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,51	0,25	6,35	8,00
600	14959,1	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,51	0,25	6,35	8,00
600	15016,5	156,0	133,1	13,31	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00

Diámetro	Abscisa	Carga	Presion Flujo No Permanente	Presión	Esf admis	Espesor Cal	Espesor Cal	Espesor manip	Espesor manip	Espesor trab*
mm		m	m	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	pulg	mm	pulg	mm	mm
600	15073,9	156,0	133,2	13,32	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
600	15131,3	156,1	133,2	13,32	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
600	15188,6	156,1	133,2	13,32	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
600	15246,0	156,1	133,2	13,32	37500	0,06	1,52	0,25	6,35	8,00
600	15246,0	154,5	64,5	6,45	37500	0,03	0,73	0,25	6,35	8,00
600	15258,0	154,4	75,4	7,54	37500	0,03	0,86	0,25	6,35	8,00
800	15258,0	154,4	75,4	7,54	37500	0,05	1,14	0,25	6,35	8,00
800	15266,5	154,4	75,4	7,54	37500	0,05	1,14	0,25	6,35	8,00
800	15266,5	151,4	31,2	3,12	37500	0,02	0,47	0,25	6,35	8,00
800	15326,0	151,6	31,4	3,14	37500	0,02	0,48	0,25	6,35	8,00
800	15385,5	151,8	31,5	3,15	37500	0,02	0,48	0,25	6,35	8,00
800	15445,0	151,9	31,7	3,17	37500	0,02	0,48	0,25	6,35	8,00
800	15504,5	152,1	31,9	3,19	37500	0,02	0,48	0,25	6,35	8,00
800	15564,0	152,3	32,0	3,20	37500	0,02	0,49	0,25	6,35	8,00
800	15623,5	152,4	32,2	3,22	37500	0,02	0,49	0,25	6,35	8,00
800	15683,0	152,6	32,4	3,24	37500	0,02	0,49	0,25	6,35	8,00
800	15742,5	152,8	32,5	3,25	37500	0,02	0,49	0,25	6,35	8,00
800	15802,0	152,9	32,7	3,27	37500	0,02	0,50	0,25	6,35	8,00
800	15802,0	152,9	32,7	3,27	37500	0,02	0,50	0,25	6,35	8,00
800	15861,5	153,1	37,5	3,75	37500	0,02	0,57	0,25	6,35	8,00
800	15921,0	153,3	42,2	4,22	37500	0,03	0,64	0,25	6,35	8,00
1200	15980,5	153,4	47,0	4,70	37500	0,04	1,07	0,25	6,35	8,00
1200	16040,0	153,6	51,7	5,17	37500	0,05	1,18	0,25	6,35	8,00
1200	16099,5	153,8	56,5	5,65	37500	0,05	1,28	0,25	6,35	8,00
1200	16159,0	153,9	61,2	6,12	37500	0,05	1,39	0,25	6,35	8,00
1200	16218,5	154,1	65,9	6,59	37500	0,06	1,50	0,25	6,35	8,00
1200	16278,0	154,3	70,7	7,07	37500	0,06	1,61	0,25	6,35	8,00
1200	16337,5	154,4	75,4	7,54	37500	0,07	1,72	0,25	6,35	8,00
1200	16337,5	152,6	8,2	0,82	37500	0,01	0,19	0,25	6,35	8,00
1200	16396,4	152,7	27,5	2,75	37500	0,02	0,63	0,25	6,35	8,00
1200	16455,2	152,9	46,7	4,67	37500	0,04	1,06	0,25	6,35	8,00
1200	16514,1	153,0	66,0	6,60	37500	0,06	1,50	0,25	6,35	8,00
1200	16572,9	153,1	85,3	8,53	37500	0,08	1,94	0,25	6,35	8,00
1200	16631,8	153,2	104,6	10,46	37500	0,09	2,38	0,25	6,35	8,00
1200	16690,6	153,3	123,8	12,38	37500	0,11	2,82	0,25	6,35	8,00
1500	16749,5	153,4	143,1	14,31	37500	0,16	4,07	0,25	6,35	8,00
1500	16749,5	153,4	143,1	14,31	37500	0,16	4,07	0,25	6,35	8,00
1500	16808,4	153,5	143,2	14,32	37500	0,16	4,07	0,25	6,35	8,00
1500	16867,2	153,6	143,3	14,33	37500	0,16	4,08	0,25	6,35	8,00
1500	16926,1	153,8	143,5	14,35	37500	0,16	4,08	0,25	6,35	8,00
1500	16984,9	153,9	143,6	14,36	37500	0,16	4,08	0,25	6,35	8,00
1500	17043,8	154,0	143,7	14,37	37500	0,16	4,09	0,25	6,35	8,00
1500	17102,6	154,1	143,8	14,38	37500	0,16	4,09	0,25	6,35	8,00
1500	17161,5	154,2	143,9	14,39	37500	0,16	4,09	0,25	6,35	8,00
1500	17161,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17221,7	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17281,9	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17342,1	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17402,2	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17462,4	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17522,6	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17582,8	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17643,0	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	17643,0	182,8	48,3	4,83	37500	0,05	1,37	0,25	6,35	8,00
1500	17697,8	182,7	52,2	5,22	37500	0,06	1,48	0,25	6,35	8,00
1500	17752,6	182,6	56,0	5,60	37500	0,06	1,59	0,25	6,35	8,00
1500	17807,4	182,6	59,9	5,99	37500	0,07	1,70	0,25	6,35	8,00
1500	17862,2	182,5	63,7	6,37	37500	0,07	1,81	0,25	6,35	8,00
1200	17917,0	182,4	67,5	6,75	37500	0,06	1,54	0,25	6,35	8,00
1200	17971,9	182,3	71,4	7,14	37500	0,06	1,62	0,25	6,35	8,00
1200	18026,7	182,2	75,2	7,52	37500	0,07	1,71	0,25	6,35	8,00
1200	18081,5	182,1	79,1	7,91	37500	0,07	1,80	0,25	6,35	8,00
1200	18136,3	182,1	82,9	8,29	37500	0,07	1,89	0,25	6,35	8,00
1200	18191,1	182,0	86,8	8,68	37500	0,08	1,97	0,25	6,35	8,00
1200	18245,9	181,9	90,6	9,06	37500	0,08	2,06	0,25	6,35	8,00
1200	18300,7	181,8	94,5	9,45	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1200	18355,5	181,7	98,3	9,83	37500	0,09	2,24	0,25	6,35	8,00
1200	18410,3	181,6	102,1	10,21	37500	0,09	2,32	0,25	6,35	8,00
1200	18465,1	181,6	106,0	10,60	37500	0,09	2,41	0,25	6,35	8,00
1200	18520,0	181,5	109,8	10,98	37500	0,10	2,50	0,25	6,35	8,00
1200	18574,8	181,4	113,7	11,37	37500	0,10	2,59	0,25	6,35	8,00
800	18629,6	181,3	117,5	11,75	37500	0,07	1,78	0,25	6,35	8,00
800	18684,4	181,2	121,4	12,14	37500	0,07	1,84	0,25	6,35	8,00
800	18739,2	181,1	125,2	12,52	37500	0,07	1,90	0,25	6,35	8,00
800	18794,0	181,1	129,1	12,91	37500	0,08	1,96	0,25	6,35	8,00
800	18794,0	181,1	129,1	12,91	37500	0,08	1,96	0,25	6,35	8,00
800	18814,0	181,0	129,0	12,90	37500	0,08	1,96	0,25	6,35	8,00
800	18814,0	179,5	163,8	16,38	37500	0,10	2,49	0,25	6,35	8,00
800	18864,0	179,3	158,3	15,83	37500	0,09	2,40	0,25	6,35	8,00
1200	18914,0	179,2	152,9	15,29	37500	0,14	3,48	0,25	6,35	8,00

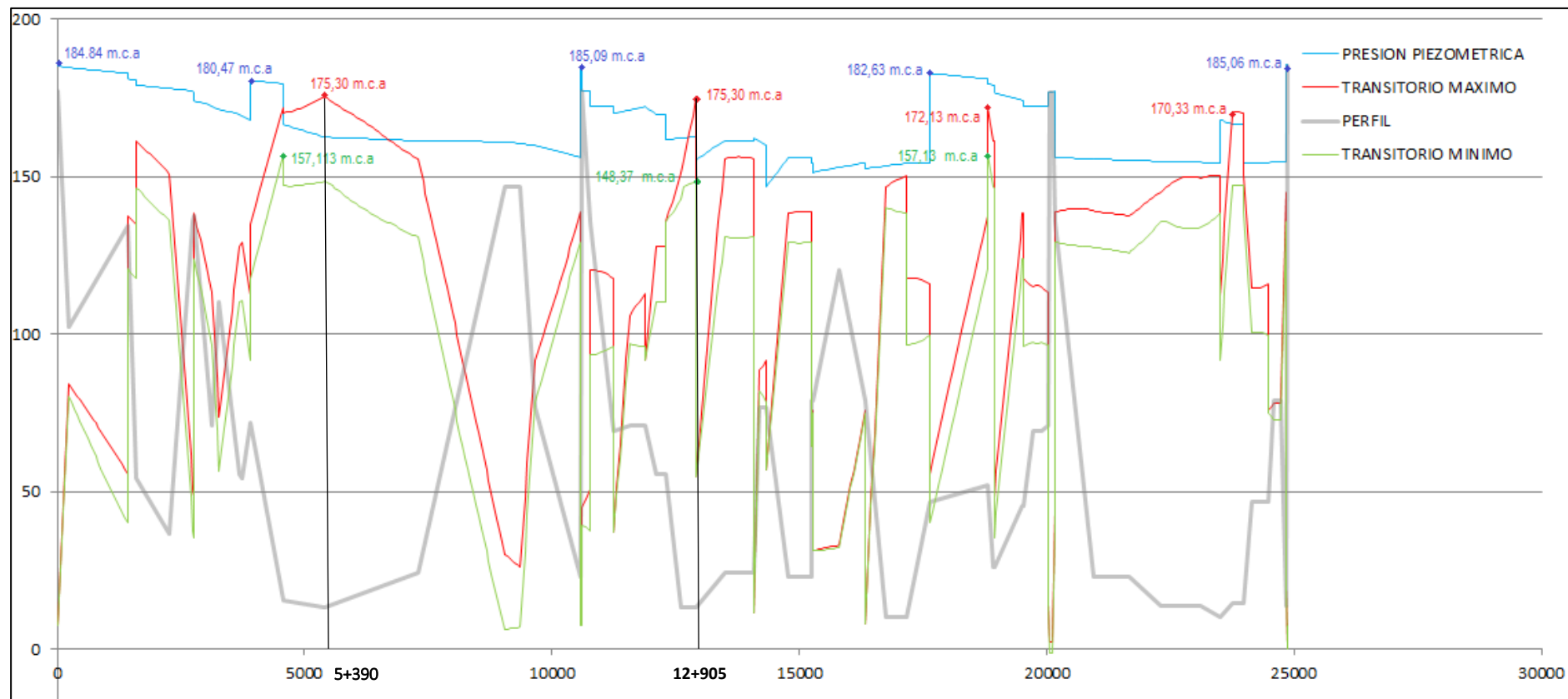
Diámetro	Abscisa	Carga	Presion Flujo No Permanente	Presión	Esf admis	Espesor Cal	Espesor Cal	Espesor manip	Espesor manip	Espesor trab*
mm		m	m	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	pulg	mm	pulg	mm	mm
1200	18914,0	179,2	152,9	15,29	37500	0,14	3,48	0,25	6,35	8,00
1200	18934,0	179,1	152,8	15,28	37500	0,14	3,48	0,25	6,35	8,00
1200	18934,0	176,7	39,3	3,93	37500	0,04	0,89	0,25	6,35	8,00
1200	18986,7	176,5	47,4	4,74	37500	0,04	1,08	0,25	6,35	8,00
1200	19039,5	176,2	55,5	5,55	37500	0,05	1,26	0,25	6,35	8,00
1200	19092,2	176,0	63,6	6,36	37500	0,06	1,45	0,25	6,35	8,00
1200	19144,9	175,8	71,8	7,18	37500	0,06	1,63	0,25	6,35	8,00
1200	19197,6	175,6	79,9	7,99	37500	0,07	1,82	0,25	6,35	8,00
1200	19250,4	175,3	88,0	8,80	37500	0,08	2,00	0,25	6,35	8,00
1200	19303,1	175,1	96,1	9,61	37500	0,09	2,19	0,25	6,35	8,00
1200	19355,8	174,9	104,2	10,42	37500	0,09	2,37	0,25	6,35	8,00
1200	19408,5	174,7	112,4	11,24	37500	0,10	2,56	0,25	6,35	8,00
1200	19461,3	174,4	120,5	12,05	37500	0,11	2,74	0,25	6,35	8,00
1200	19514,0	174,2	128,6	12,86	37500	0,12	2,93	0,25	6,35	8,00
1200	19514,0	174,2	128,6	12,86	37500	0,12	2,93	0,25	6,35	8,00
1200	19534,0	174,1	128,5	12,85	37500	0,12	2,92	0,25	6,35	8,00
1200	19534,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19594,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19654,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19714,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19714,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19770,7	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19827,3	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19884,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19884,0	172,5	103,2	10,32	37500	0,09	2,35	0,25	6,35	8,00
1200	19950,0	172,5	102,4	10,24	37500	0,09	2,33	0,25	6,35	8,00
1200	20016,0	172,5	101,5	10,15	37500	0,09	2,31	0,25	6,35	8,00
1200	20016,0	176,8	13,8	1,38	37500	0,01	0,31	0,25	6,35	8,00
1200	20069,0	177,0	0,2	0,02	37500	0,00	0,00	0,25	6,35	8,00
1200	20069,0	177,0	0,2	0,02	37500	0,00	0,00	0,25	6,35	8,00
1200	20119,0	177,0	0,2	0,02	37500	0,00	0,00	0,25	6,35	8,00
1200	20119,0	177,0	0,2	0,02	37500	0,00	0,00	0,25	6,35	8,00
1200	20164,0	177,2	41,4	4,14	37500	0,04	0,94	0,25	6,35	8,00
1200	20164,0	156,1	133,2	13,32	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20215,5	156,0	133,2	13,32	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20267,1	156,0	133,1	13,31	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20318,6	156,0	133,1	13,31	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20370,1	156,0	133,1	13,31	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20421,7	155,9	133,1	13,31	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20473,2	155,9	133,0	13,30	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20524,7	155,9	133,0	13,30	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20576,3	155,8	133,0	13,30	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20627,8	155,8	132,9	13,29	37500	0,12	3,03	0,25	6,35	8,00
1200	20679,3	155,8	132,9	13,29	37500	0,12	3,02	0,25	6,35	8,00
1200	20730,9	155,8	132,9	13,29	37500	0,12	3,02	0,25	6,35	8,00
1200	20782,4	155,7	132,8	13,28	37500	0,12	3,02	0,25	6,35	8,00
1200	20833,9	155,7	132,8	13,28	37500	0,12	3,02	0,25	6,35	8,00
1200	20885,5	155,7	132,8	13,28	37500	0,12	3,02	0,25	6,35	8,00
1500	20937,0	155,6	132,8	13,28	37500	0,15	3,78	0,25	6,35	8,00
1500	20937,0	155,6	132,8	13,28	37500	0,15	3,78	0,25	6,35	8,00
1500	20988,4	155,6	132,7	13,27	37500	0,15	3,78	0,25	6,35	8,00
1500	21039,9	155,6	132,7	13,27	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21091,3	155,5	132,7	13,27	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21142,7	155,5	132,6	13,26	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21194,1	155,5	132,6	13,26	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21245,6	155,5	132,6	13,26	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21297,0	155,4	132,5	13,25	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21348,4	155,4	132,5	13,25	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21399,9	155,4	132,5	13,25	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21451,3	155,3	132,5	13,25	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21502,7	155,3	132,4	13,24	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21554,1	155,3	132,4	13,24	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21605,6	155,2	132,4	13,24	37500	0,15	3,77	0,25	6,35	8,00
1500	21657,0	155,2	132,3	13,23	37500	0,15	3,76	0,25	6,35	8,00
1500	21657,0	155,2	132,3	13,23	37500	0,15	3,76	0,25	6,35	8,00
1500	21711,2	155,2	133,1	13,31	37500	0,15	3,79	0,25	6,35	8,00
1500	21765,3	155,2	133,8	13,38	37500	0,15	3,81	0,25	6,35	8,00
1500	21819,5	155,1	134,5	13,45	37500	0,15	3,83	0,25	6,35	8,00
1500	21873,7	155,1	135,3	13,53	37500	0,15	3,85	0,25	6,35	8,00
1500	21927,8	155,1	136,0	13,60	37500	0,15	3,87	0,25	6,35	8,00
1500	21982,0	155,0	136,7	13,67	37500	0,15	3,89	0,25	6,35	8,00
1500	22036,2	155,0	137,5	13,75	37500	0,15	3,91	0,25	6,35	8,00
1500	22090,3	155,0	138,2	13,82	37500	0,15	3,93	0,25	6,35	8,00
1500	22144,5	154,9	138,9	13,89	37500	0,16	3,95	0,25	6,35	8,00
1500	22198,7	154,9	139,7	13,97	37500	0,16	3,97	0,25	6,35	8,00
1500	22252,8	154,9	140,4	14,04	37500	0,16	3,99	0,25	6,35	8,00
1500	22307,0	154,8	141,1	14,11	37500	0,16	4,02	0,25	6,35	8,00
1500	22307,0	154,8	141,1	14,11	37500	0,16	4,02	0,25	6,35	8,00
1500	22364,1	154,8	141,1	14,11	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22421,3	154,8	141,1	14,11	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00

Diámetro	Abscisa	Carga	Presion Flujo No Permanente	Presión	Esf admis	Espesor Cal	Espesor Cal	Espesor manip	Espesor manip	Espesor trab*
mm		m	m	kg/cm <sup>2</sup>	PSI	pulg	mm	pulg	mm	mm
1500	22478,4	154,7	141,0	14,10	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22535,6	154,7	141,0	14,10	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22592,7	154,6	140,9	14,09	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22649,9	154,6	140,9	14,09	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22707,0	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22707,0	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22764,1	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22821,3	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22878,4	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22935,6	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	22992,7	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	23049,9	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	23107,0	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	23107,0	154,5	140,8	14,08	37500	0,16	4,01	0,25	6,35	8,00
1500	23163,4	154,5	141,3	14,13	37500	0,16	4,02	0,25	6,35	8,00
1500	23219,9	154,4	141,7	14,17	37500	0,16	4,03	0,25	6,35	8,00
1500	23276,3	154,4	142,1	14,21	37500	0,16	4,04	0,25	6,35	8,00
1500	23332,7	154,3	142,6	14,26	37500	0,16	4,06	0,25	6,35	8,00
1500	23389,1	154,3	143,0	14,30	37500	0,16	4,07	0,25	6,35	8,00
1500	23445,6	154,3	143,5	14,35	37500	0,16	4,08	0,25	6,35	8,00
1500	23502,0	154,2	143,9	14,39	37500	0,16	4,09	0,25	6,35	8,00
1200	23502,0	168,1	96,3	9,63	37500	0,09	2,19	0,25	6,35	8,00
1200	23550,8	167,8	107,4	10,74	37500	0,10	2,44	0,25	6,35	8,00
1200	23599,6	167,5	118,5	11,85	37500	0,11	2,70	0,25	6,35	8,00
1200	23648,4	167,2	129,7	12,97	37500	0,12	2,95	0,25	6,35	8,00
1200	23697,2	166,9	140,8	14,08	37500	0,13	3,21	0,25	6,35	8,00
1200	23746,0	166,6	152,0	15,20	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23746,0	166,6	152,0	15,20	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23794,8	166,6	152,0	15,20	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23843,6	166,6	151,9	15,19	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23892,4	166,6	151,9	15,19	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23941,2	166,5	151,9	15,19	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23990,0	166,5	151,9	15,19	37500	0,14	3,46	0,25	6,35	8,00
1200	23990,0	154,2	143,9	14,39	37500	0,13	3,28	0,25	6,35	8,00
1200	24043,5	154,2	131,7	13,17	37500	0,12	3,00	0,25	6,35	8,00
1200	24097,0	154,2	119,4	11,94	37500	0,11	2,72	0,25	6,35	8,00
1200	24150,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,10	2,44	0,25	6,35	8,00
1500	24150,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24204,0	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24257,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24311,0	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24311,0	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24364,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24418,0	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24471,5	154,2	107,2	10,72	37500	0,12	3,05	0,25	6,35	8,00
1500	24471,5	154,4	75,4	7,54	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24533,5	154,5	75,5	7,55	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24595,5	154,6	75,6	7,56	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24595,5	154,6	75,6	7,56	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24657,5	154,6	75,6	7,56	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24719,5	154,6	75,6	7,56	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24719,5	154,6	75,6	7,56	37500	0,08	2,15	0,25	6,35	8,00
1500	24781,5	154,7	108,4	10,84	37500	0,12	3,08	0,25	6,35	8,00
1500	24843,5	154,8	141,1	14,11	37500	0,16	4,02	0,25	6,35	8,00
1500	24843,5	185,6	18,6	1,86	37500	0,02	0,53	0,25	6,35	8,00
1500	24862,1	185,4	0,3	0,03	37500	0,00	0,01	0,25	6,35	8,00
1500	24862,1	185,4	0,3	0,03	37500	0,00	0,01	0,25	6,35	8,00
1500	24865,1	185,4	0,3	0,03	37500	0,00	0,01	0,25	6,35	8,00
1500	24865,1	185,4	0,3	0,03	37500	0,00	0,01	0,25	6,35	8,00
1500	24873,5	185,2	8,0	0,80	37500	0,01	0,23	0,25	6,35	8,00

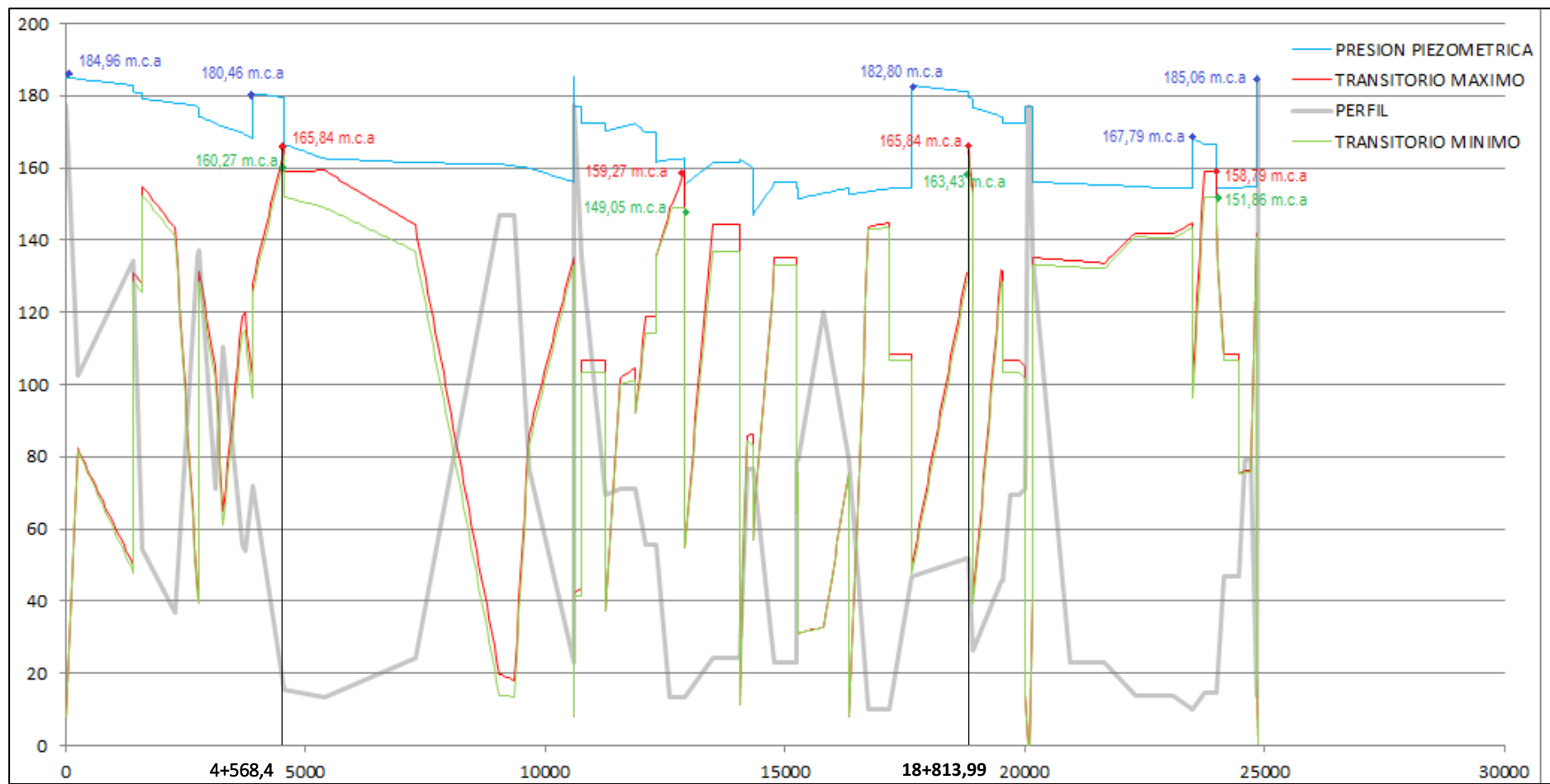
**Anexo 4:**  
**Simulación con varias válvulas reductoras de  
presión**



**Envoltantes de presión para la implementación de 1 válvula reductora de presión en sistema regional de agua potable de Esmeraldas**

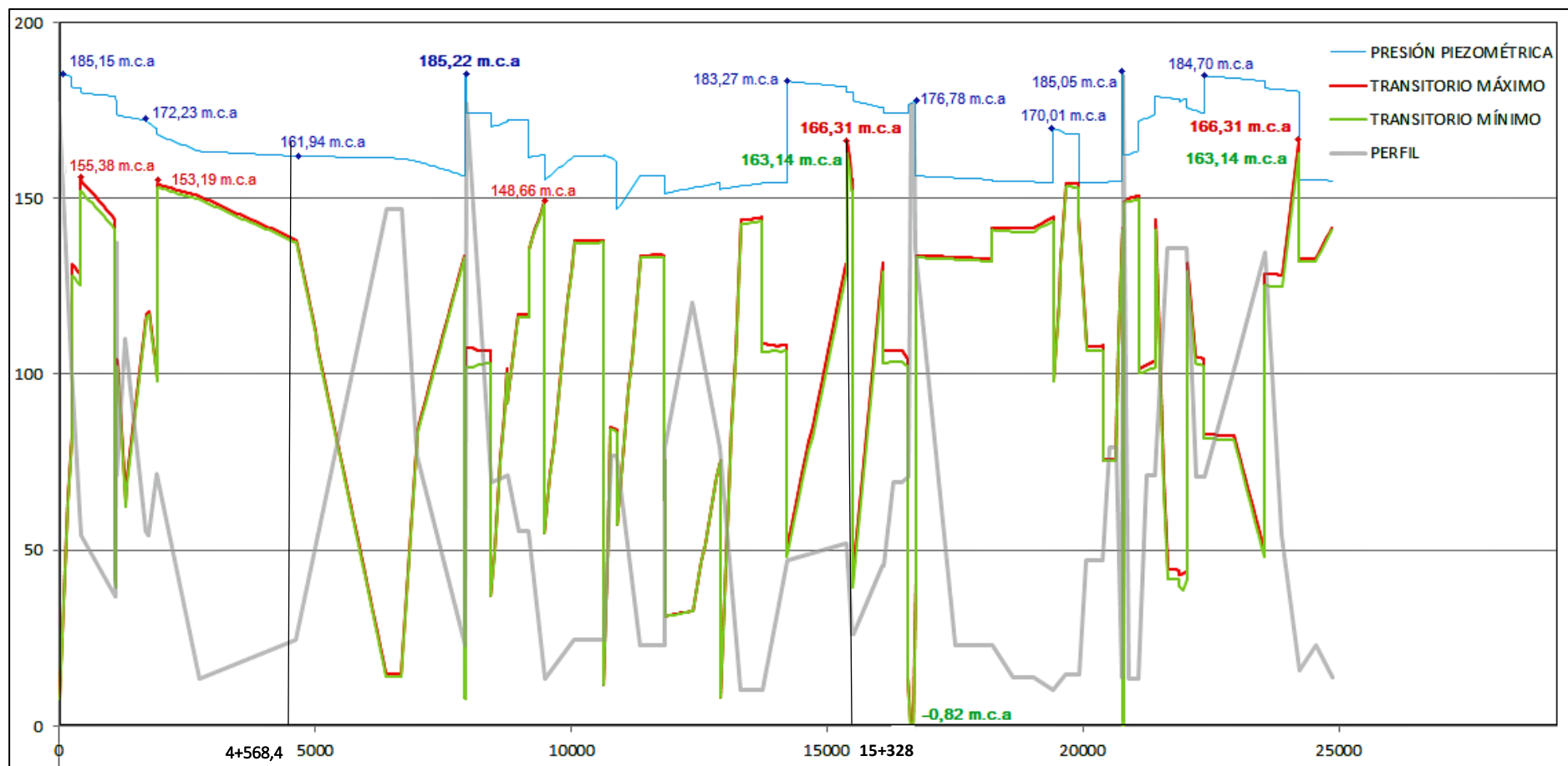


**Envolventes de presión para la implementación de 2 válvulas reductoras de presión en sistema regional de agua potable de Esmeraldas**



Envolturas de presión para la implementación de 3 válvulas reductoras de presión en sistema regional de agua potable de Esmeraldas





Envolturas de presión para la implementación de 4 válvulas reductoras de presión en sistema regional de agua potable de Esmeraldas